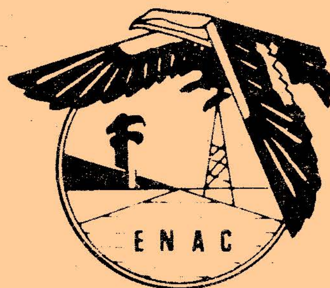
Secrétariat Général à l'Aviation Civile

ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

MOTEURS

LES MOTEURS A EXPLOSION

par
D. MARECHAL



1ère Edition Juin 1969

MOTEURS

LES MOTEURS A EXPLOSION

par
D. MARECHAL

Ce cours a été professé
aux promotions suivantes :
I.N.A. - P.L. - P.P.

1ère Edition Juin 1969

COURS MOTEURS

LE MOTEUR A EXPLOSION - LES HELICES

REFERENCES : Cours de l'Ecole de l'Air

Cours du C.P.P.N. à Blagnac

Cours du Centre d'Instruction de Vilgenis

Documents techniques A. F.

T A B L E   D E S   M A T I E R E S

C O U R S   M O T E U R S

M O T E U R S   A   E X P L O S I O N

ooOoo

C O U R S M O T E U R S

N O T E S P R E L I M I N A I R E S

- Unités.
- Généralités sur la propulsion.
- Evolutions thermiques.

1 - LES SYSTEMES D'UNITES

Unités fondamentales - Unités dérivées

D'une façon générale, on peut constater que les unités de certaines grandeurs peuvent être rattachées aux unités d'autres grandeurs par des définitions simples ; on dit alors qu'elles sont dérivées des autres, qui de ce fait, sont appelées fondamentales.

En mécanique, il suffit de choisir 3 unités fondamentales qui peuvent être :

Longueur	L	Masse	M	Temps	T

ou

Longueur	L	Force	F	Temps	T

Dans la première famille, on trouve le système S I, les systèmes C G S et M T S.

Dans la deuxième famille, on trouve le système M. Kp. S

En thermodynamique, il y aura lieu d'ajouter une 4ème unité fondamentale, la Température.

Systèmes d'unités.

Le décret 61-501 du 3 mai 1961, impose le système international S I. Mais, l'utilisation pratique des moteurs nécessitera encore longtemps l'emploi d'anciennes unités appartenant à d'autres systèmes de même que l'emploi d'unités étrangères - anglaises ou américaines - car presque tous les documents d'utilisation du matériel américain font appel à ces unités.

Le tableau suivant précise les différentes unités fondamentales ou dérivées du système S I et les diverses correspondances avec les autres unités.

En raison de leur grandeur, les unités S I sont employées souvent avec des multiples de 10 ; les désignations à utiliser seront :

10^{12}	tera	T	10^{-1}	déci	d
10^{9}	giga	G	10^{-2}	centi	c
10^{6}	méga	M	10^{-3}	milli	m
10^{5}	hectokilo	hk	10^{-4}	décimilli	dm
10^{4}	myria	ma	10^{-5}	centimilli	cm
10^{3}	kilo	k	10^{-6}	micro	µ
10^{2}	hecto	h	10^{-9}	nano	u
10	deca	da	10^{-12}	pico	p

Equation de dimension.

Soit une surface S ; c'est le produit de 2 longueurs ; l'unité de surface est donc de degré 2 par rapport à l'unité de longueur. On exprime ce fait par :

$$S = L^2$$

et, d'une façon générale, l'équation de dimension d'une grandeur G est :

$$G = L^{\alpha} . M^{\beta} . T^{\alpha}$$

exemple :

$$F = M\,L\,T^{-2}$$

Vérification de l'homogénéïté des formules :

La formule d'oscillation d'un pendule est :

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

d'où l'équation de dimension :

$$T = \frac{L^{1/2}}{\sqrt{L\,T^{-2}}} = \frac{L^{1/2}}{L^{1/2}\,T^{-1}} = T$$

UNITES

Longueur	Surface	Volume	Temps	Vitesse	Accélération	Masse	Force	Pression	Energie Travail Chaleur	Puissance	Couple	Température
L	L^2	L^3	T	$L\ T^{-1}$	$L\ T^{-2}$	M	$M\ L\ T^{-2}$	$M\ L^{-1}\ T^{-2}$	$M\ L^2\ T^{-2}$	$M\ L^2\ T^{-3}$	$M\ L^2\ T^{-2}$	
Mètre m	Mètre carré M^2	Mètre cube M^3	Seconde s	Mètre par seconde m / s	Mètre par seconde, par seconde m / s^2	kilogramme kg	Newton N	Pascal Pa	Joule J	Watt W	Mètre - Newton m N	Degré Kelvin ° K θ° K = θ° C + 273
Mile M 1 M = 1609 m Nautical Mile nM 1 nM = 1852 m Foot ft 1 ft = 0,3048 m Inch in 1 in = 0,0254 m	Square inch Sq.in 1 sq.in = 6,451 cm^2	U S Gallon U S G 1 USG = 3,785 l. Imp. Gallon Imp. G 1 Imp.G = 4,546 l. Cubic inch Cu. in 1 Cu.in = 16,387 cm^3		kilomètre-heure kmh 1 kmh = 0,2778 m/s Knot kt 1 kt = 0,5144 m/s			Kilogramme-poids kg.p 1 kg.p = 9,81 N Pound lb 1 lb = 4,448 N	Bar 1 bar < 1,02 $k.cm^2$; 10^5 Pa Kg.p par cm^2 kgp / cm^2 1kgp.cm^2 = 9,81.10^4 Pa Inch de mercure in. Hg 760 mm Hg < 29,9 in ; 101325Pa Pound per Square inch Psi ou lbs/sq.in 1 PSI < 6,89 kPa ; 0,7 k/cm^2	Kilogramme/mètre kg / m 1 kg/m = 9,81 J Thermie Th 1 Th = 4185.10^3 J Calorie 1 c = 4,185 J 1 C = 4185 J	British Horse power B H P 1 BHP = 1,014 cv = 746 w Cheval vapeur CV 1 CV = 75 kgm/s = 736 W Kilogram.Sec. kgm/s 1 kgm/s = 9,81 W	Foot-pound ft / lb Inch-pound in / lb	θ° Centigrade °C $\theta° C = \frac{5}{9} (\theta°F - 32)$ θ° Fahrenheit °F $\theta° F = \frac{9}{5} \theta° C + 32$

2 - GENERALITES SUR LA PROPULSION

Le déplacement d'un véhicule exige l'application à ce dernier d'un effort propulsif qui assurera sa mise en mouvement par une accélération destinée à vaincre son inertie, et ensuite l'entretien de ce mouvement en s'opposant aux diverses résistances.

Ce système propulsif peut être extérieur au véhicule : c'est le cas des véhicules catapultés. Il peut être lié au véhicule, en faire partie ; c'est le cas des automobiles ou des avions.

D'une manière générale, on peut obtenir le déplacement d'un corps A par rapport à un corps B :

1 - grâce à une action exercée par B sur A

2 - grâce à une action exercée par A sur B et donnant une réaction égale et opposée de B sur A.

Dans la propulsion terrestre, le point d'appui nécessaire se trouve soit dans le frottement des roues motrices sur le sol, soit dans une crémaillère etc. En milieu fluide, l'action du système propulsif va se traduire par la mise en mouvement d'une certaine masse fluide ; cette mise en mouvement ne se fera pas sans résistance et elle va donner naissance à une force d'inertie qui tend à s'opposer à la cause qui la provoque, et par suite à une réaction sur les organes propulsifs liés au véhicule en entrainant ainsi le déplacement de celui-ci.

Ex : propulsion par rames, par hélice marine ou aérienne.

Ainsi, dans un milieu fluide, la propulsion est obtenue grâce à la réaction d'inertie opposée par une certaine masse de fluide accélérée par le système propulsif dans une direction opposée à celle du mouvement désiré.

Supposons que le mobile comporte une partie détachable dont il peut se séparer en l'éloignant de lui : à l'action exercée sur elle par le véhicule pour assurer la séparation, la partie détachable opposera une réaction d'inertie appliquée au véhicule provoquant ainsi son déplacement.

C'est le phénomène qu'on observe dans le recul d'une arme à feu.

Ainsi, moyennant l'éjection dans une direction opposée à celle du mouvement désiré, d'une partie de sa propre masse, un véhicule peut assurer sa propulsion, la nature physique de la masse éjectée pouvant être quelconque.

C'est le principe des fusées.

Donc, tous les systèmes de propulsion aérienne sont des systèmes par réaction

- mécaniquement, par déplacement d'une certaine masse de fluide par des organes mobiles : c'est l'hélice aérienne.

- thermiquement, en faisant participer une fraction du milieu ambiant à une évolution thermique au cours de laquelle le fluide pourra transformer en énergie cinétique l'énergie d'expansion acquise à la faveur d'un réchauffage intense : il s'agit alors de système réacteur.

Ce système est dit à réaction directe par opposition avec les systèmes propulseurs dont l'intermédiaire mécanique justifie l'appellation de " réaction indirecte ".

Dans les cas ci-dessus, le milieu ambiant est utilisé.

Si le dispositif n'utilise pas le milieu ambiant, les masses à éjecter sont emmagasinées à bord de l'appareil ; la capacité est donc limitée. Si on veut obtenir une durée de fonctionnement suffisante, le débit d'éjection ne devra pas être trop important ; pour avoir un effet propulsif suffisant il faudra une accélération plus importante.

C'est avec des produits gazeux (au moment du moins de l'éjection) qu'on peut seulement réaliser un débit continu assurant la continuité de l'effort propulsif conditionnant un rendement suffisant.

La masse éjectée étant gazeuse, c'est à un processus thermique qu'on s'adressera pour obtenir l'accélération par écoulement à travers une tuyère ; le système appartient encore à la catégorie des réacteurs thermiques mais pour tenir compte de sa propriété essentielle d'indépendance à l'égard du milieu ambiant, on l'appelle " réacteur pur " ou fusée.

Constitution schématique d'un système propulsif.

Tout système de ce genre comporte obligatoirement un organe de propulsion (hélice ou tuyère) associé à un générateur d'énergie.

1 - Générateur d'énergie.

Le générateur d'énergie est une machine thermique qui transforme une énergie latente apportée par un ou plusieurs corps en une énergie thermique à l'occasion d'une réaction chimique se développant à l'intérieur de la machine. Le plus souvent cette réaction est une combustion alimentée par un carburant apporté à bord de la machine et par l'air ambiant emprunté à l'extérieur.

La combustion donne naissance à des produits gazeux dont l'énergie d'expansion va fournir un effet utile à l'occasion d'une détente.

Pour que la détente soit possible, il est nécessaire que les gaz aient été amenés à une pression supérieure à celle qu'ils possédaient à l'entrée ou à la sortie de la machine, d'où nécessité d'une compression préalable dont l'effet peut quelquefois être accru par la combustion lorsque celle-ci s'effectue à volume constant.

De toute manière cette compression préalable exige un organe de compression qui nécessitera lui-même pour l'entrainer un organe moteur.

Dans ce cas, si les organes peuvent fonctionner d'une manière continue, la machine sera une <u>turbo machine</u> ; s'ils sont animés d'un mouvement alternatif, la machine sera une <u>machine alternative</u>, en général moteur à pistons.

2 - Organes de propulsion.

L'énergie disponible dans les gaz, après prélèvement de l'énergie nécessaire, est utilisée à la propulsion grâce aux organes de propulsion.

a) - hélice

L'hélice assure le brassage et l'accélération d'une certaine masse d'air. Si son entrainement est assuré par une turbo machine, l'énergie nécessaire sera obtenue en prolongeant la détente sur une turbine qui communiquera son mouvement à l'hélice, en général par l'intermédiaire d'un réducteur : on a alors un turbopropulseur.

Si c'est un moteur alternatif, l'énergie nécessaire sera obtenue en prolongeant la détente dans un cylindre, le mouvement de rotation étant obtenu par le système bielle-manivelle, puis transmis à l'hélice soit directement, soit par un réducteur ; il s'agit alors d'un groupe moto-propulseur.

b) - tuyère d'éjection

La tuyère assure la transformation directe de l'énergie d'expansion des gaz en énergie cinétique ; le générateur n'est donc ici qu'un générateur de gaz chauds dont la tuyère achêve la détente.

Si le générateur est une turbo machine, l'écoulement est continu et on a un turbo réacteur.

Si le générateur est une machine alternative, l'écoulement est pulsatoire. La tuyère peut encore être alimentée par des gaz chauds sans faire appel à des organes mobiles : c'est le stato réacteur. Une variante de celui-ci est le pulso réacteur qui, lui non plus, ne comporte aucun organe en mouvement sauf, immédiatement après le diffuseur d'entrée de la machine, une cloison percée d'orifices fermés par des clapets assurant un débit périodique à travers la machine.

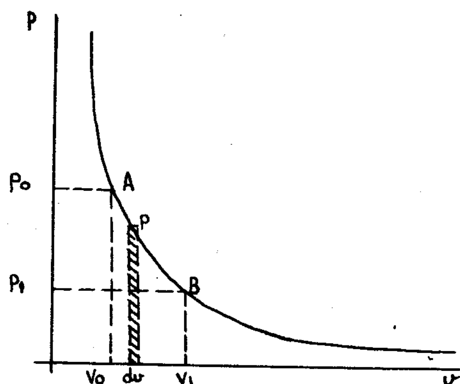
3 - E V O L U T I O N S   T H E R M I Q U E S.

1 - Evolution isothermique.

C'est une évolution au cours de laquelle la température reste constante. Elle est régie par la loi de Mariotte.

$$p.v = Cte$$

La représentation est une hyperbole équilatère sur le diagramme de Clapeyron où elle admet les axes de coordonnées pour asymptoles.



Le travail fourni par le gaz au cours de la transformation est représenté par l'aire comprise entre l'isotherme, l'axe des abscisses et les 2 parallèles A et B à l'axe des pressions.

La démonstration est faite en considérant une très petite variation de volume à une pression p. ; le travail est p. d_v et, en intégrant de V_o à V_1, on obtient la surface du diagramme.

Si on remonte à $dQ = dU + d\mathcal{T} = c_v.dT + d\mathcal{T}$ on a $dT = 0$ donc $dQ = d\mathcal{T}$

Toute la chaleur fournie au gaz produit du travail .

2 - Evolution adiabatique.

C'est une transformation telle qu'il n'y a aucun échange de chaleur entre le gaz et le milieu qui le contient. Ce n'est jamais réalisable pratiquement mais on s'en rapproche avec des enveloppes peu conductibles et des durées très courtes rendant négligeables les

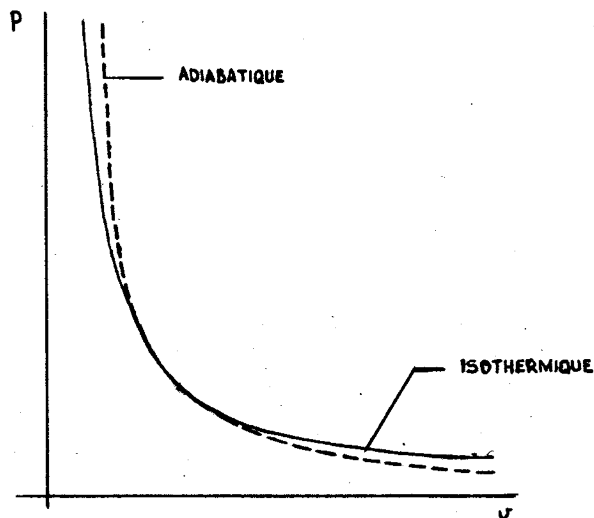
échanges de chaleur avec les parois.

La loi est :

$$p.\ v^{\gamma} = C^{te}$$

dans laquelle $\gamma = \frac{Cp}{Cv} = 1{,}41$ pour l'air, l'oxygène, l'azote, le gaz carbonique, l'hydrogène.

Si on part d'un état donné caractérisé par un point M, l'isotherme et l'adiabatique sont donnés par le schéma ci-contre.



Dans la formule : $p.v^{\gamma} = C^{te}$, la température n'intervient pas; on peut chercher une relation entre T et V

$$p.\ v^{\gamma} = C^{te}$$

$$p.\ v = R\ T$$

$$p = \frac{R\ T}{v}$$

d'où :

$$R.\ \frac{T}{v}\ .\ v^{\gamma} = C^{te}$$

$$\boxed{T.v^{\gamma-1} = C^{te}}$$

ou entre T et p :

$$p.\ v^{\gamma} = C^{te} \qquad p.\ v = R.\ T \qquad v = \frac{R.\ T}{P}$$

d'où

$$v^{\gamma} = \frac{R^{\gamma}\ \ T^{\gamma}}{P^{\gamma}}$$

donc :

$$p . \frac{R.^{\gamma} \; T.^{\gamma}}{p^{\gamma}} = C^{te}$$

$$\frac{T^{\gamma}}{p^{\gamma-1}} = C^{te}$$

$$\boxed{T . p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = C^{te}}$$

Principe de CARNOT.

D'après CARNOT, il est impossible d'établir un moteur thermique dans lequel la chaleur ne passerait pas d'une région chaude à une région froide, de même qu'il serait impossible d'actionner un moteur hydraulique sans chute d'eau.

Dans un moteur thermique, le transfert de chaleur n'est pas intégral puisque à chaque 425 kgm produit correspond la destruction d'une grande calorie.

Si on emprunte Q_1 à la source chaude et si on rend Q_2 à la source froide, $Q_1 - Q_2$ est transformé en travail

$$\mathcal{T}_{kgm} = E \left(Q_1 - Q_2 \right)$$

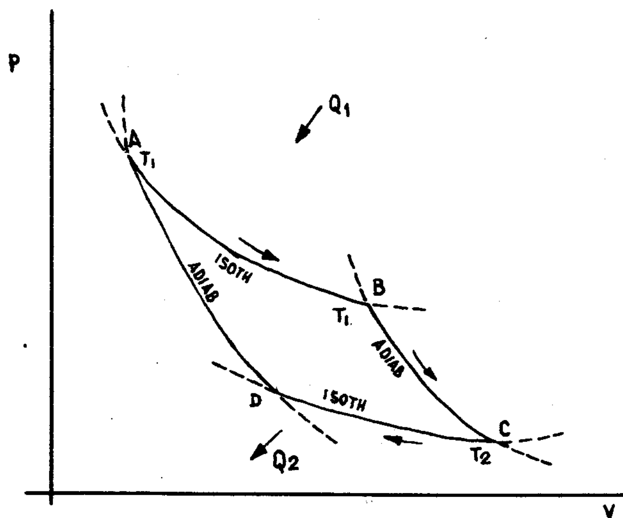
et le rendement η est

$$\eta = \frac{E \left(Q_1 - Q_2 \right)}{E \; Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Il ne peut jamais être égal à l'unité.

Cycle de CARNOT.

On appelle cycle une série d'opérations qu'on fait subir à un corps. Si le cycle est fermé, le corps revient à son état initial, il est ouvert dans le cas contraire. Le cycle imaginé par CARNOT est fermé ; il comprend 2 adiabatiques A D et B C et 2 isothermiques A B et D C.



De A à B, le gaz en contact avec une source chaude à la température T se détend en produisant un travail mais en restant à température Cte T_1.

En B, la communication avec la source chaude est coupée et le gaz se détend adiabatiquement jusqu'à la température T_2 de la source froide.

Maintenu à T_2, le gaz est comprimé isothermiquement jusqu'en D ; en supprimant le contact avec la source froide, le gaz continue à être comprimé adiabatiquement pour revenir au point A.

Pendant la détente isothermique, le gaz reçoit Q_1 ; pendant la compression isothermique, il cède Q_2. Il a disparu $Q_1 - Q_2$ qui ont été transformés en travail

$$\mathcal{T} = E\ (Q_1 - Q_2)\ \text{kgm}$$

ou, en système S I :

$$\mathcal{T}_j = (Q_1 - Q_2)\ \text{j.}$$

Le travail produit est représenté par l'aire A B C D.

Le rendement maximum est :

$$\boxed{\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

COURS MOTEURS

MOTEURS A EXPLOSION

CHAPITRE I.

CYCLES

C Y C L E S   E T   L E U R   R E N D E M E N T

Le cycle décrit par les gaz dans les moteurs à combustions interne ne correspond pas exactement au cycle de Carnot : le cycle n'est ni fermé ni reversible, les transformations ne sont ni adiabatiques ni isothermiques, les gaz ne sont pas parfaits et les transformations chimiques font varier leurs chaleurs spécifiques.

Mais, pratiquement, la masse d'air représentant les 15/16 des gaz évoluants, on obtient cependant une approximation suffisante.

Dans tout moteur moderne à combustion interne, les 5 opérations du cycle sont :

- Introduction de l'air et du combustible, ou de l'air seul dans la capacité à volume variable ;

- Compression ;

- Mise à feu du combustible ou injection de combustible dans l'air comprimé ;

- Détente motrice ;

- Evacuation des gaz brûlés pour permettre le renouvellement des opérations précédentes ;

Nous admettrons que :

- au moment de l'ouverture des orifices, l'équilibre s'établit instantanément ;

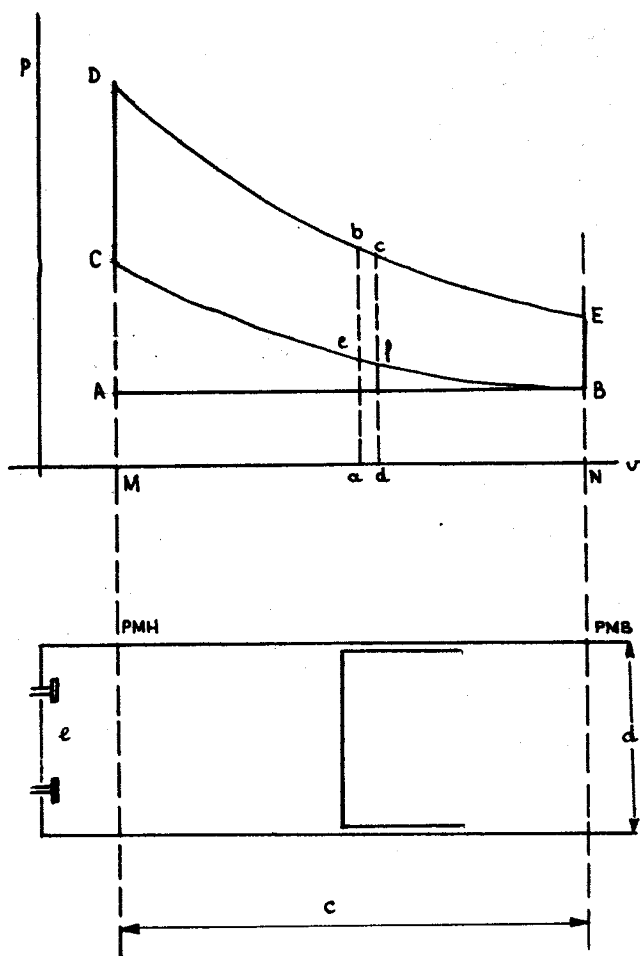
- la combustion du mélange est instantanée ;

- il n'y a aucun échange de chaleur à travers les parois ;

C Y C L E A E X P L O S I O N A 4 T E M P S

1 - Cycle théorique.

1 - 1 - Imaginé en 1861 par Beau de Rochas, il comprend 4 opérations qui s'accomplissent en 4 courses de piston et en 2 tours de vilebrequin :



course AB = aspiration

course BC = compression adiabatique

course CD = inflammation

course DE = détente adiabatique

EB, course BA : échappement

Les ouvertures et fermetures de soupapes se faisant sans avance ni retard.

On définit :

alesage : d

course : c

cylindrée $\frac{\pi d^2}{4} \times c = u$

espace mort : e = volume chambre de combustion

compression volumétrique : $\varepsilon = \dfrac{u + e}{e}$

rendement thermique maximum : $\dfrac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

ou

rendement thermique théorique : $\eta = 1 - \dfrac{1}{\varepsilon^{\gamma - 1}}$

1 - 2 - Note facultative, Calcul de η

Soit T_o la température initiale du gaz.

T_1 la température en fin de compression.

T_2 la température en fin de combustion.

T_3 la température en fin de détente.

La combustion s'effectuant à volume constant, on a pour chaque unité de masse du gaz :

$$Q_1 = C_v \; (T_2 - T_1)$$

On a aussi, l'échappement étant admis instantané

$$Q_2 = C_v \; (T_3 - T_o)$$

donc :

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_3 - T_o}{T_2 - T_1}$$

La détente et la compression étant supposées adiabatiques, on a :

$$T_v^{\ \gamma - 1} = \text{Cte}$$

d'où

$$T_o\, v_o^{\;\gamma-1} = T_1\, v_1^{\;\gamma-1}$$

$$\frac{T_1}{T_o} = \frac{v_o^{\;\gamma-1}}{v_1^{\;-1}} = \varepsilon^{\;\gamma-1}$$

on a de même

$$T_3\, v_3^{\;\gamma-1} = T_2\, v_2^{\;\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{v_3^{\;\gamma-1}}{v_2^{\;\gamma-1}} = \varepsilon^{\;\gamma-1}$$

donc

$$\frac{T_1}{T_o} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_o} = \varepsilon^{\;\gamma-1}$$

et

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\;\gamma-1}}$$

Ce rendement est donc fonction du taux de compression volumétrique ; plus le moteur est surcomprimé, plus son rendement thermique théorique est élevé.

1 - 3 - Travail dans le cycle.

Si on considère un intervalle de temps dt , le travail élémentaire produit est p. d v qui peut se décomposer en travail produit a b c d et travail résistant a e f d ; si on fait la somme de ces travaux élémentaires, on obtient :

$$\sum_M^N p.\, d\, v = \text{aire } M\,D\,E\,N - \text{aire } M\,C\,B\,N = \text{aire } B\,C\,D\,E.$$

B C D E représente le travail utile produit par le cycle.

ETUDE DU CYCLE PRATIQUE A 4 TEMPS

1° - Admission.

1 - 1 - Quand le piston commence sa course à partir du P M H, le volume résiduel est plein de gaz brûlés, à une pression généralement supérieure de 5 à 15 % à la pression atmosphérique. Ces gaz se détendent puis une certaine dépression se produit et les gaz frais entrent avec un certain retard de 5 à 10° de façon à avoir un appel plus franc au carburateur, sans risquer un retour de gaz brûlés.

Cependant, sur un moteur à compresseur comme le P W R 1830, on a une A O A de 20° pour assurer le balayage des gaz brûlés. On a également de l'AoA sur certains moteurs poussés mais sans compresseur.

Théoriquement l'admission se fait à pression constante (ce qui n'est pas exact en réalité) ; le maximum de vitesse des gaz se fait quand le piston est au P M B donc nécessité d'un R F A (76° sur le P W R1830) permettant d'utiliser l'inertie des gaz pour mieux remplir le cylindre et permettre au gaz de venir se tasser dans le cylindre ; le point de fermeture a lieu quand la pression à l'intérieur du cylindre est égale à la pression d'admission.

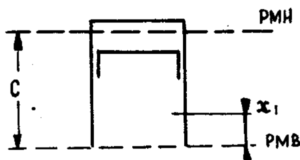
1 - 2 - Le coefficient de remplissage est le rapport entre le poids de gaz frais réellement admis et le poids de gaz correspondant à la cylindrée.

$$\text{Coefficient de remplissage} = \frac{\text{volume gaz frais}}{\text{volume cylindrée}}$$

Si x_1 désigne le déplacement du piston depuis le P M B jusqu'à la position correspondant à la R F A, la cylindrée réelle est :

$$u_1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} (c - X_1)$$

et le coefficient de remplissage " a " est le rapport de la cylindrée réelle à la cylindrée géométrique



$$a = \frac{u_1}{u} = \frac{\frac{\Pi d^2}{4} (c - x_1)}{\frac{\Pi d^2}{4} \cdot C} =$$

$$\frac{c - x_1}{c} = 1 - \frac{x_1}{c}$$

1 - 3 - Rapport volumétrique corrigé.

Lorsque les gaz dans le cylindre sont à la pression atmosphérique, ils occupent un volume u_1 à partir duquel se définit le coefficient de remplissage :

$$a = 1 - \frac{x_1}{c}$$

Il existe un rapport volumétrique corrigé ε' tel que :

$$\varepsilon' = \frac{e + u_1}{e}$$

Or $a = \frac{u_1}{u}$ donc

$$u_1 = a\,u$$

et

$$\varepsilon' = \frac{e + a\,u}{e} = 1 + a\,\frac{u}{e}$$

mais,

$$\varepsilon = \frac{e + u}{e} = 1 + \frac{u}{e}$$

d'où,

$$\frac{u}{e} = \varepsilon - 1$$

et

$$\boxed{\varepsilon' = 1 + a (\varepsilon - 1)}$$

1 - 4 - Vitesse, température des gaz.

La vitesse des gaz dans la tubulure ne devra pas dépasser 70 à 75 m/s sinon on aura un mauvais remplissage du cylindre ; c'est ce qui se produit quand le nombre de tours est trop élevé.

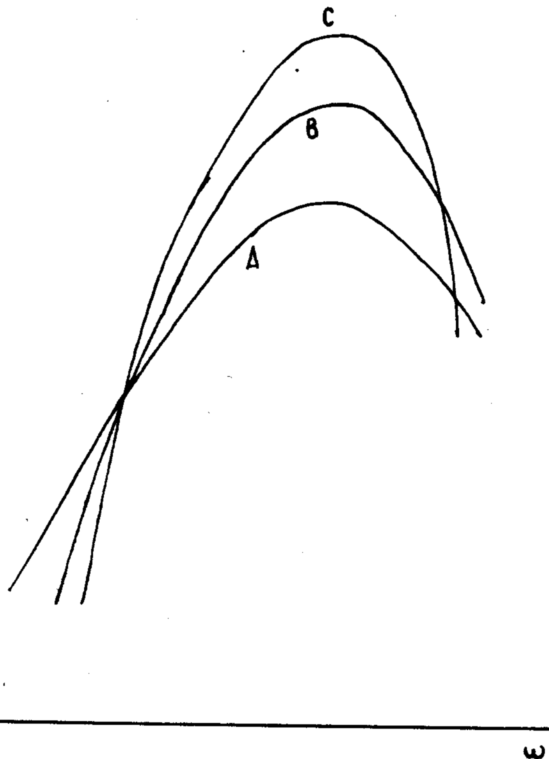
La température en fin d'admission est variable ; elle dépend de la température ambiante, de la baisse de température due à la vaporisation de l'essence, de l'élévation de température due au compresseur, de l'élévation de température due au contact des gaz frais avec les parois du cylindre. Elle est de l'ordre de 60° C, soit 333° K.

1 - 5 - Observation.

Nous avons vu l'avantage du R F A, mais il dépend de la vitesse de rotation.

Si la vitesse de rotation diminue, la dépression qui entraine les gaz est moindre, les gaz se tassent moins contre le piston et par conséquent celui-ci aura tendance à les évacuer en remontant.

Aux grandes vitesses angulaires, l'intérêt du R F A est aussi diminué car les freinages augmentent avec la vitesse, et le retour rapide du piston leur donne une telle vitesse qu'ils ont tendance à ressortir par la soupape encore ouverte.



A : courbe caractéristique avec R F A = 0

B : courbe caractéristique avec R F A ;

W est augmenté mais pour les faibles vitesses, B se rapproche de A et passe même en dessous.

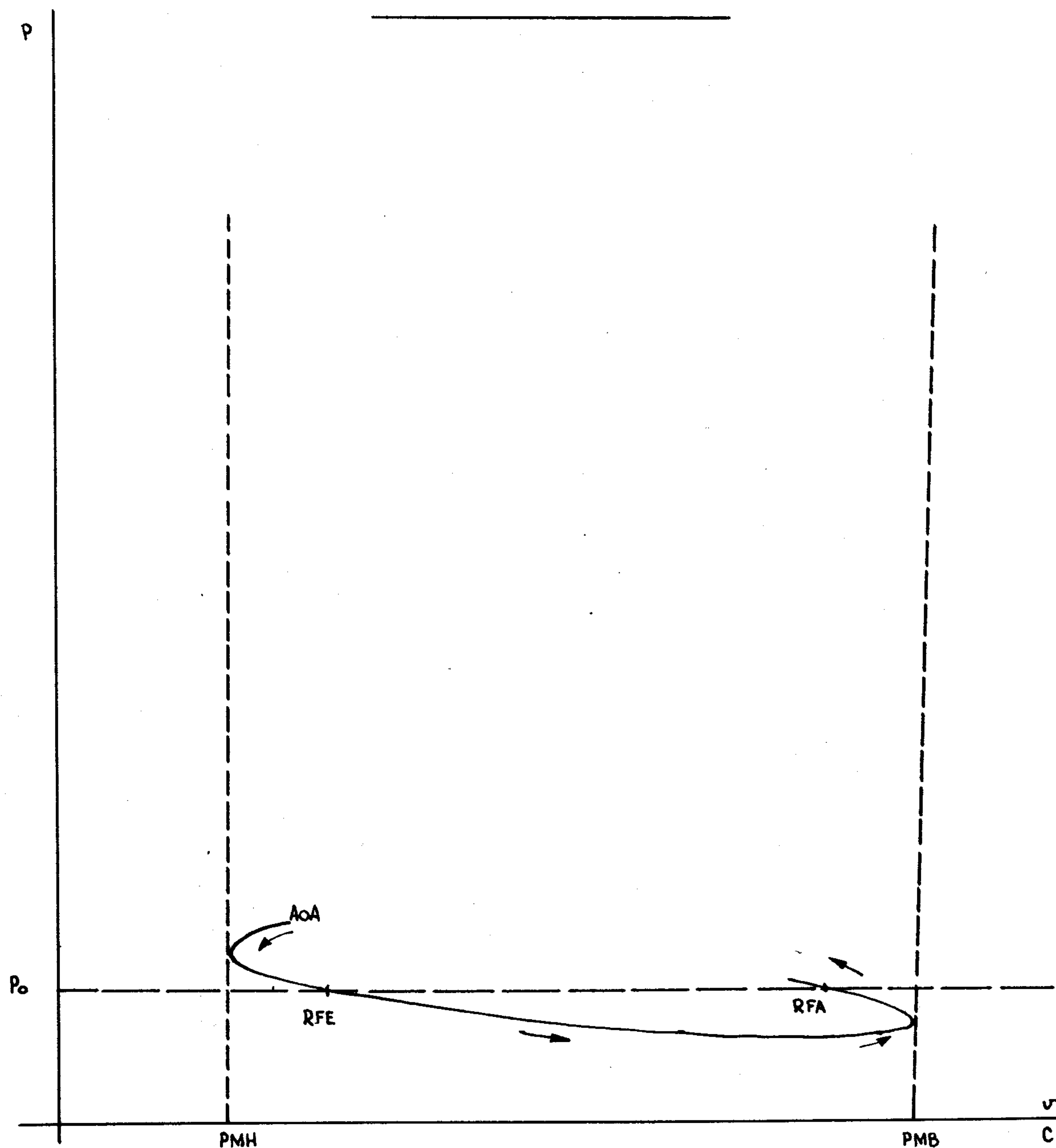
C : courbe caractéristique avec R F A ; pour les grandes vitesses angulaires, le remplissage est diminué et C passe en dessous de B et même de A.

1 - 6 - Le graphique suivant donne la représentation graphique de la phase " admission " ;

On constate que la pression dans le cylindre au moment du R F A est égale à la pression d'admission et que le volume de gaz frais admis est inférieur au volume qui correspond au P M B. Pour améliorer ce coefficient de remplissage, on opère un "croisement " des soupapes, c'est-à-dire qu'à un certain moment, l'admission et l'échappement sont ouverts simultanément ; le croisement modifie le coefficient de remplissage car le balayage qui en résulte entraine une meilleure évacuation des gaz brûlés.

Pour une même vitesse de rotation, le croisement des soupapes augmente le remplissage et donc la puissance pour les pressions d'admission élevées, et la diminue pour les faibles. Un angle de croisement trop élevé donnerait une forte pointe de puissance pour une pression d'admission élevée, et un moteur mou aux faibles pressions d'admission.

PHASE ADMISSION



Quelques valeurs A O A et R F A :

Pratt et Whitney R 1830 (sur C 47/ D C 3) : AOA 20° RFA 76°

Wright 18 D 4 : A O A : Etoile A V : 45° - Etoile A R : 55°

R F A : Etoile A V : 56° - Etoile A R : 56°

Citroen I D 19 : A O A : 3° - R F A : 45°

2 - Compression.

2 - 1 - Après la fermeture de la soupape d'admission et pendant tout le reste de la course du piston, le gaz est comprimé jusqu'à occuper le volume e de la chambre de combustion. Cette réduction de volume diminue les pertes de chaleur par les parois.

La chaleur de compression est donc en partie absorbée par les parois puis évacuée par le refroidissement mais au fur et à mesure que la compression augmente, la température des gaz et celle des parois augmente.

La compression n'est donc pas parfaitement adiabatique ; d'après la formule :

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma - 1}}$$

le rendement croît avec la compression ; si ε passe de 5 à 7, η croit de 0,39 à 0,44. Au point de vue thermique, la valeur maximum de la compression n'est limitée que par les phénomènes de détonation et auto-allumage ; en pratique ce rendement tend vers une asymptote horizontale du fait des pertes par les parois et des défauts d'étanchéïté interne.

2 - 2 - Pression en fin de compression.

Au moment de la fermeture de l'admission, les gaz occupent un volume a u + e. Ils sont amenés à occuper le volume final e à une pression p_1 par une compression sensiblement adiabatique.

$$p_1 \, e^{\gamma} = p_o \, (a u + e)^{\gamma}$$

$$p_1 = \frac{(a u + e)^{\gamma}}{e} = \varepsilon'^{\gamma}$$

Soit environ 9 k pour un rapport volumétrique de 5 ;

Soit environ 12,5 k pour un rapport volumétrique de 6 ;

Température en fin de compression.

$$T_1 \, e^{\gamma - 1} = T_o \, (a u + e)^{\gamma - 1}$$

$$T_1 = T_o \left(\frac{a u + e}{e} \right)^{\gamma - 1} = T_o \, \varepsilon'^{\,\gamma - 1}$$

pour $\varepsilon' = 5$ $T_1 = 273 + 250$ à $300°$
$\varepsilon' = 6$ $T_1 = 273 + 400°$ environ

Travail dépensé pendant la compression.

Dans le travail de compression et dans celui de détente, on ne tient pas compte du travail de la pression atmosphérique, car il est nul par tour.

Une formule pratique : $T = 3 \times (\varepsilon' + 3)$

permet de constater que, pour $\varepsilon' = 5$, $T = 24$ kgm/litre

Puissance dépensée pour la compression.

Si V est la cylindrée totale, on a :

$$W_c = \frac{T.\ V.\ n}{2 \times 75 \times 60}$$

avec V en litres, n en t/m, T en kgm/litre

Si = 5 on a vu T = 24 kgm/litre ; si n = 1800 t/m, V = 20 l on a :

$$W_c = \frac{24 \times 20 \times 1800}{2 \times 75 \times 60} = 100 \text{ cv}$$

Explosion.

Nous admettrons que la combustion du mélange est instantanée quand se produit l'étincelle.

En pratique, la masse de gaz s'enflamme progressivement la flamme se propageant à une vitesse de 15 à 30 m/s. On est donc amené à provoquer l'étincelle avant que le piston atteigne le P M H, de telle façon que le P M H corresponde sensiblement au milieu de la combustion.

Facteurs de l' A. A

La vitesse de propagation de la flamme dépend :

1 - de la densité du mélange, la flamme se propageant plus vite dans un milieu dense, cette densité dépendant elle-même de la pression d'admission et de la température au carburateur.

2 -de la richesse du mélange.

3 - de la forme de la chambre de combustion et de la position des bougies. Dans un régime turbulent, qui dépend de la chambre, la flamme se propage plus vite. En multipliant le nombre des bougies, on diminue la durée de la combustion et on diminue l' A. A.

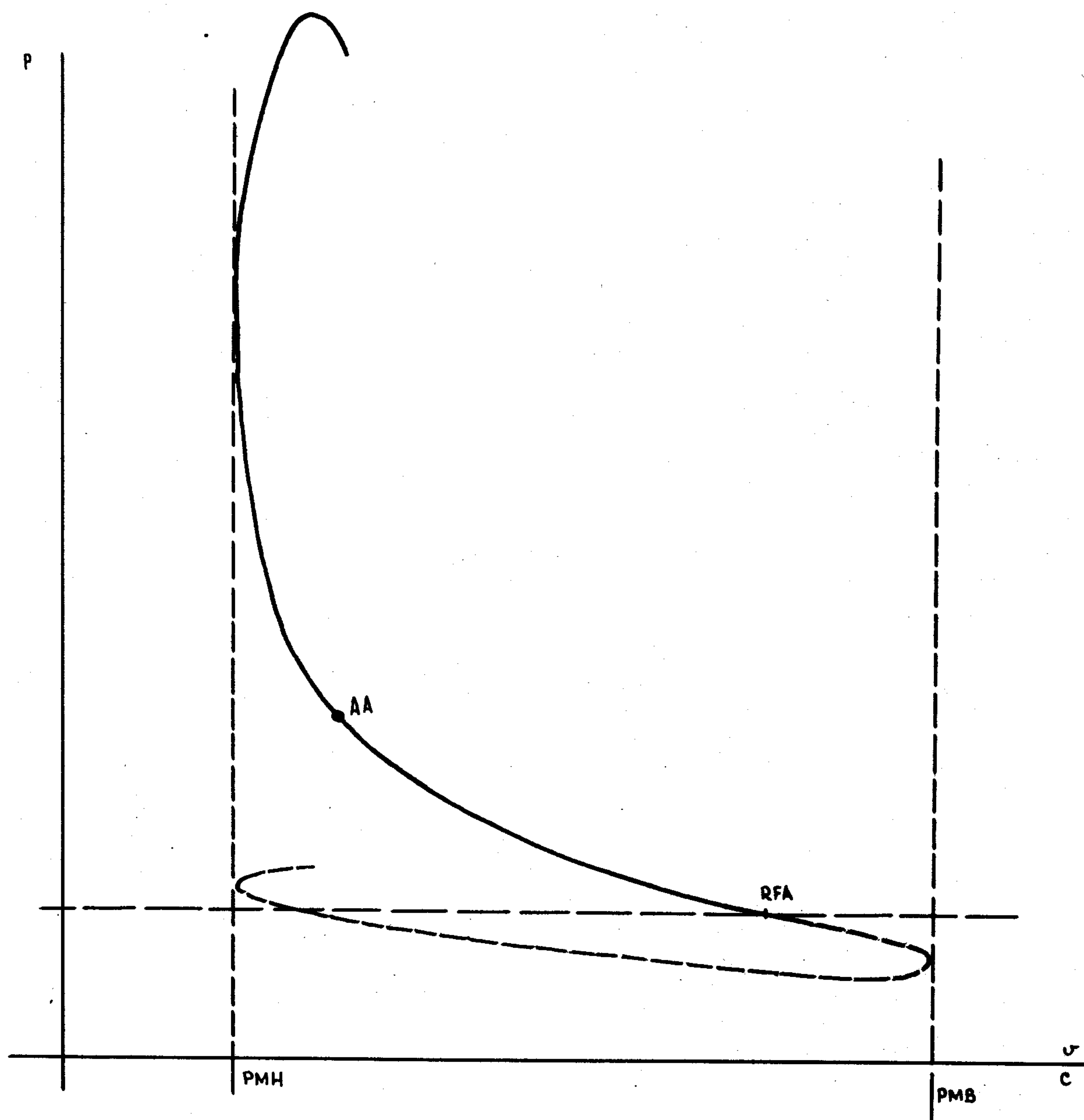
4 - du nombre de tours du moteur, l'avance devant augmenter avec le nombre de tours.

Température et pression.

En fin de combustion, la température dont la valeur théorique serait d'environ 2000° atteint en réalité 1300° à 1500° par suite du refroidissement des parois et par suite du fait qu'au moment du maximum de température les réactions chimiques ne sont pas terminées ; l'élévation de température ne provient pas dès lors de la combustion de la totalité de la masse gazeuse.

La pression en fin d'explosion est produite par l'élévation de température des gaz brûlés à volume constant. Pour $\varepsilon = 5$, elle atteint 33 k/cm^2.

Le graphique ci-après donne la phase " compression, explosion ".



Quelques valeurs d' A. A.
Moteur PW R1830 : 25°
Wright 18 D4 : 20°

Citroen I D 19 : réglage à 12° - avance variable.

PHENOMENES PARTICULIERS A LA PHASE COMPRESSION - EXPLOSION

Des phénomènes de combustion peuvent amener des déteriorations importantes dues à des échauffements anormaux de certaines parties des cylindres comme les bougies et les soupapes.

L'autoallumage est un phénomène d'allumage prématuré, qui dépend à peu près uniquement de la compression ; il entraine une élévation prématurée de pression qui augmente le travail résistant pendant la courbe de compression ; les pertes de chaleur par les parois augmentent.

Il dépend aussi de l'effort demandé au moteur (mal des autoroutes) qui conduit à une élévation de température telle que les calamines rougissent, les pointes de bougies ou les soupapes sont au rouge et provoquent un allumage prématuré par point chaud.

La détonation est une combustion explosive ; la vitesse de combustion conduit à une onde explosive de modification chimique qui se propage en communiquant au système un excès de pression considérable, ou tout au moins des variations brutales de pression.

Cette onde dépend des propriétés physiques, mais encore de propriétés chimiques. Nous y reviendrons lors de l'étude des carburants.

3 - Détente.

La détente est la seule phase motrice du cycle ; elle est théoriquement adiabatique.

Température et pression.

- La température découle de la formule des gaz parfaits $T V^{\gamma - 1} = Cte$ avec $\gamma = 1,3$ pour tenir compte de l'état des gaz.

Si T_3 désigne la température en fin de détente, on a :

$$T_3 (u + e)^{\gamma - 1} = T_2 e^{\gamma - 1}$$

et on trouve que T_3 est environ 1200° C

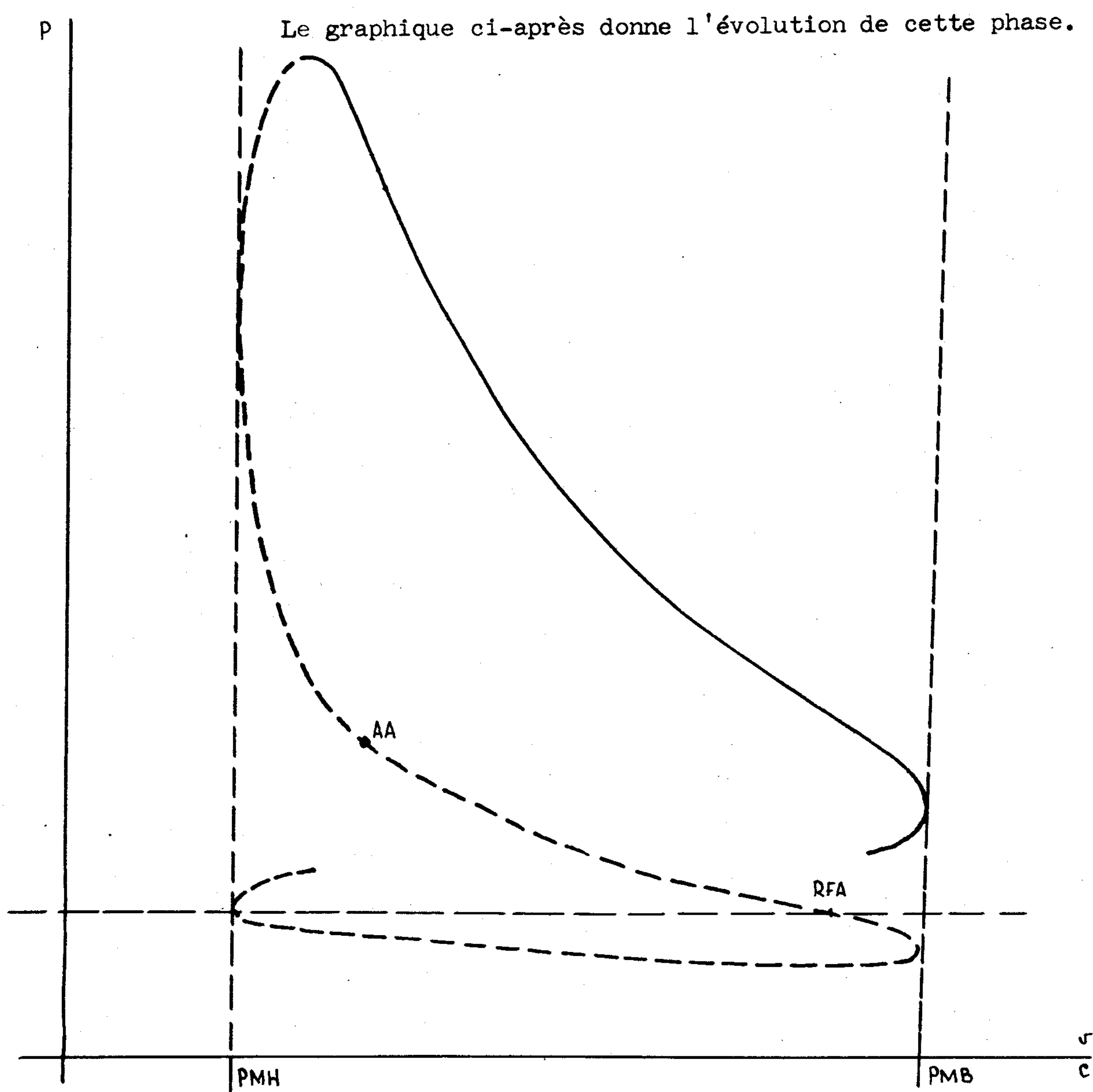
- La pression en fin de détente est telle que

$$P_3 \ (u + e)^{\gamma} = P_2 . e^{\gamma}$$

et on obtient une pression de l'ordre de 4 à 5 kg/cm²

- La pression moyenne de détente est la pression constante qui, pendant la course de détente. produit le travail de détente. Nous en verrons une expression dans l'utilisation des courbes moteur.

Le graphique ci-après donne l'évolution de cette phase.



4 - Echappement.

4 - 1 - Nous avons vu qu'en fin de détente on avait une pression de 4 à 5 k/cm². Il faut réduire cette pression pour éviter une contrepression trop forte pendant la course ascendante du piston : on met donc de l' A O E pour évacuer le plus possible les gaz brûlés. Ces gaz sortent à très grande vitesse, de l'ordre de 700 à 800 m/s et l'échappement se continue pendant toute la course du piston.

Pour améliorer encore l'evacuation, on crée un croisement des soupapes, c'est-à-dire qu'on ouvre l'admission avant que l'échappement ne soit fermé (comme déjà vu)

4 - 2 - Température et pression.

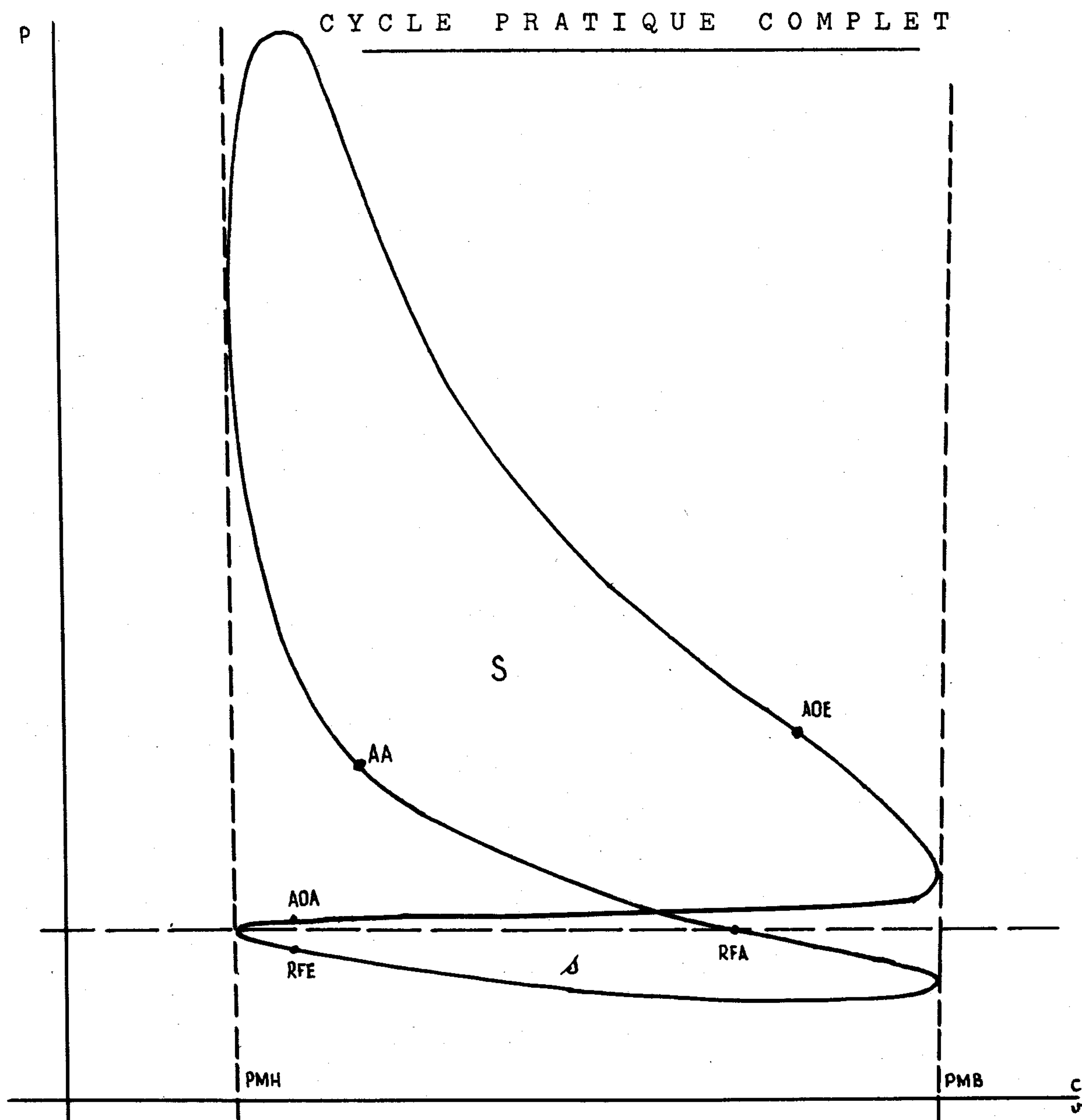
- La température T_4 est de l'ordre de 850° C. Pour les fortes puissances, un mélange pauvre provoque une augmentation de température, qui peut alors atteindre 1000 à 1200° C.

Un excès d'air donne une flamme blanche ou rouge; un excès d'essence donne des fumées noires.

- La vitesse des gaz est de l'ordre de 600 à 700 m/s. Il s'agit là d'une énergie en général perdue, mais qui peut être en partie récupérée par réaction à l'aide de pipes d'échappement réactives.

On peut aussi la récupérer par des turbines montées sur l'échappement, comme dans le moteur Wright.

4 - 3 - Le graphique ci-après donne la phase echappement et est complété par les 3 autres phases. Il représente alors le cycle pratique à 4 temps complet.



P W R 1830	WRIGHT 18 DA	P W R 2800 CA18	CITROEN ID 19
A O A = 20°	A O A(A V 45° / A R 55°	A O A 36°	A O A 3°
R F E = 20°	R F A(A V 56° / A R 56°	R F A 60°	R F A 45°
R F A = 76°	A O E(A V 70° / A R 70°	A O E 70°	A O E 45°
A O E = 76°	R F E(A V 45° / ARR 55°	R F E 26°	R F E 15°
A A = 25°	A A 25° à 30°	A A 20°	A A 12° + autom.

Le diagramme pratique permet de déterminer le travail indiqué effectué. Nous avons vu que la seule phase productrice de travail était celle de la détente. Toutes les autres phases : admission, compression, échappement absorbent du travail.

On constate alors que le travail fourni pendant le cycle complet est :

$$T = S - \$$$

On pourra ainsi, par tatonnement, trouver les réglages de soupapes et l' A A qui correspondent au travail indiqué maximum.

De toute façon, le travail indiqué restera plus faible que le travail théorique et on peut établir ainsi le bilan thermique, d'une façon qui varie avec chaque type de moteur :

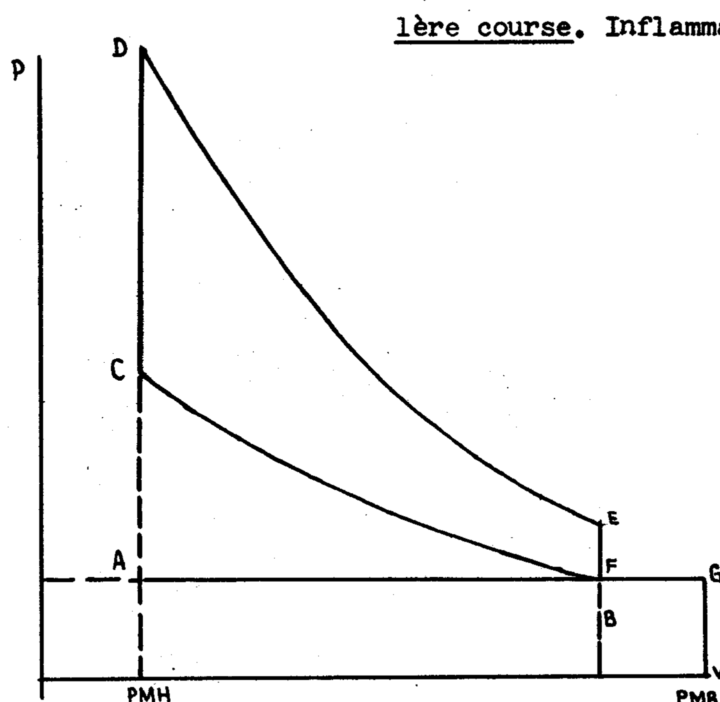
Travail recueilli sur l'arbre	22 à 27 %
Pertes par combustion incomplète	4 à 6 %
Absorbé par le refroidissement	20 à 25 %
Emporté par l'échappement	38 à 42 %
Perte par frottements	1 à 4 %
Perte par radiation	3 à 5 %
Entrainements et accessoires	0,5à 2,5%

A U T R E S   C Y C L E S

Cycle à 2 temps.

Le cycle à 2 temps comprend les mêmes opérations que le cycle à 4 temps, mais réparties sur 2 courses du piston seulement.

Pour cela on comprime généralement les gaz de telle sorte que la course d'aspiration est supprimée ; à la fin de la course de détente des orifices d'échappement s'ouvrent, puis des orifices d'admission ; les gaz pénêtrent alors dans le cylindre, chassent les gaz brûlés et remplissent le cylindre. Le balayage peut aussi avoir lieu par de l'air fourni par une pompe spéciale.

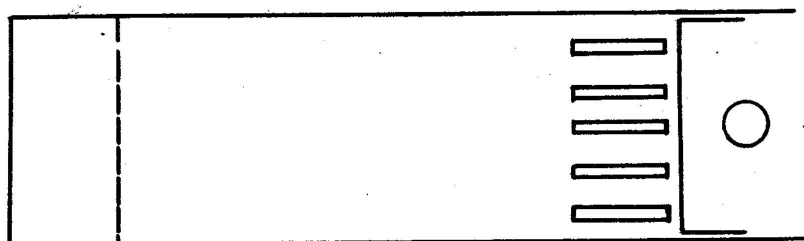


1ère course. Inflammation du mélange comprimé puis détente motrice adiabatique. Avant la fin de cette course, ouverture de l'échappement et chasse des gaz brûlés suivant E F et F G.

2ème course. Fin de l'introduction des gaz suivant G B. Compression des gaz frais suivant B C.

Il ya donc une explosion par tour.

A puissance égale avec un moteur à 4 temps, la course doit être allongée pour obtenir le même travail.

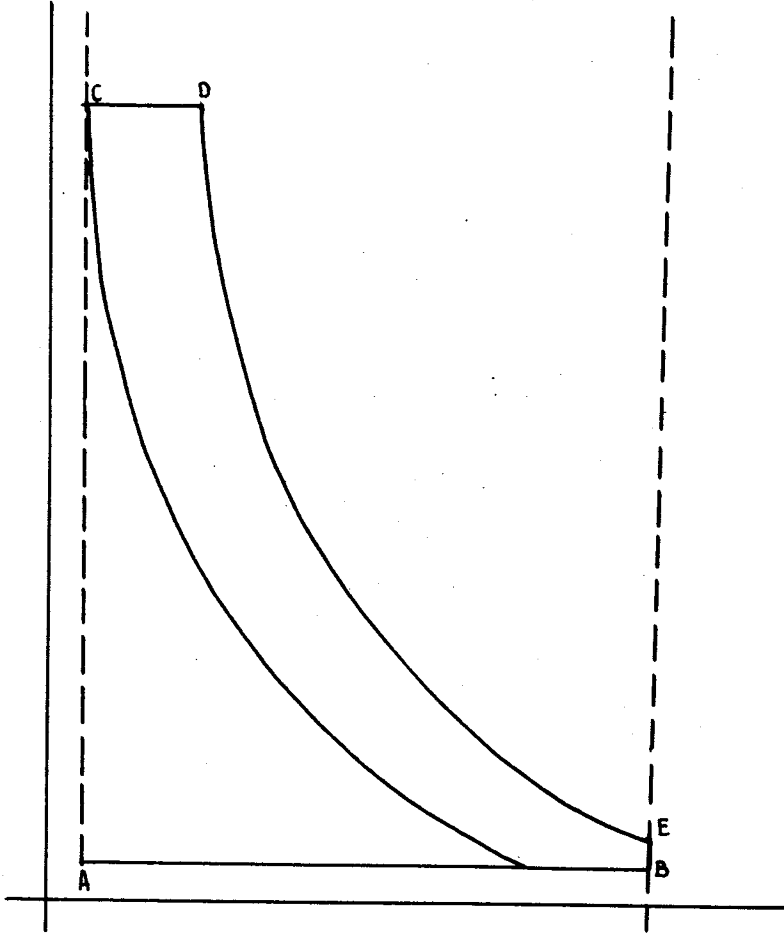


De plus, il faut une pompe à mélange.

Ce moteur chauffe plus qu'un 4 temps ; il doit donc être mieux refroidi et par conséquent mieux graissé.

Les pertes sont plus importantes car les gaz frais partent par les ouvertures d'échappement et leur énergie est perdue.

Cycle diesel à 4 temps.



Le combustible est injecté lorsque la compression est terminée. L'air pur admis au début du cycle est comprimé à un taux élevé et subit une forte élévation de température. Le combustible qui est injecté finement pulvérisé brûle graduellement dès son entrée dans le cylindre : la combustion se fait ainsi à pression constante pendant que le piston se déplace.

On a les 4 phases :

1ère course : aspiration d'air pur suivant A B.

2ème course : compression B C très élevée.

3ème course : injection et combustion suivant C D. Ensuite détente adiabatique.

4ème course : evacuation des gaz brûlés suivant E B et B A.

Cycle diesel à 2 temps.

Il ne diffère du précédent que par l'adjonction d'un " déplaceur " qui envoie de l'air dans le cylindre pendant la dernière portée de la course et en chasse les gaz brûlés.

1ère course : Fin de l'échange entre les gaz brûlés et l'air puis compression de l'air seul ;

2ème course : Injection de combustible, détente et commencement de la période d'échange ;

Le balayage étant fait par de l'air, il peut être aussi complet que voulu.

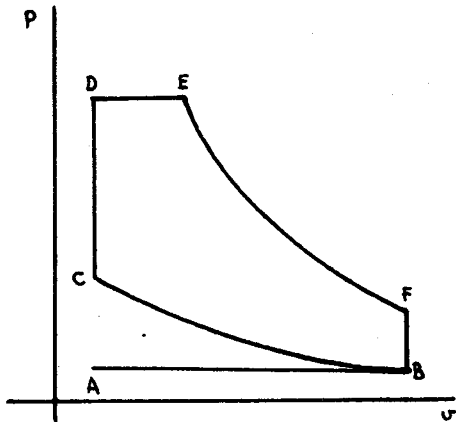
Comparaison du cycle à explosion et du cycle Diesel.

On doit comparer 2 moteurs ayant une même pression d'explosion. Dans ce cas, le rendement du Diesel est sensiblement égal à celui du moteur à explosion. L'avantage du Diesel est alors qu'il permet l'utilisation de combustibles tels que le pétrole ou des huiles lourdes difficilement inflammables, avec des consommations réduites.

Ils présentent cependant un certain nombre de difficultés, en particulier avec la précision que nécessite le système d'injection, le mode d'introduction du liquide, la formation du mélange.

Néanmoins, ces problèmes sont pratiquement résolus, et le Diesel est monté sur presque tous les véhicules lourds et aussi sur un certain nombre de voitures légères.

En aviation, des Diesels ont été aussi utilisés (Junkers). Ils utilisent alors un cycle légèrement différent, dit " mixte " où la combustion se fait d'abord à volume constant (C D) puis à pression constante (D E).



A B : Aspiration air pur

B C : Compression de l'air pur

C D : Injection et combustion à volume constant

D E : Combustion à pression constante

E F : Détente

F B A : Echappement

CHAPITRE II

PUISSANCE

RENDEMENT

COUPLE

COURBES CARACTERISTIQUES

P U I S S A N C E - R E N D E M E N T - C O U P L E -

1 - Travail moteur théorique.

Le travail moteur théorique est représenté par la différence entre le travail de détente et le travail de compression, donnés par le diagramme théorique.

2 - Travail indiqué.

Le travail indiqué est le travail recueilli sur le piston du moteur et il est représenté par la surface du diagramme réel :

$$T_i = S - s$$

3 - Pression moyenne indiquée.

C'est la pression fictive constante P_{mi} qui, agissant sur le piston pendant toute la course de détente donnerait le travail indiqué T_i. Elle varie de 8,5 à 10 k/cm^2 suivant les moteurs.

4 - Travail utile.

Le travail utile T_u est le travail recueilli en bout de l'arbre du vilebrequin. Il est un peu inférieur à T_i par suite des frottements et de l'entraînement des accessoires.

5 - Pression moyenne efficace.

C'est la pression fictive constante P_{me} qui, agissant sur le piston pendant toute la course de détente, produirait le travail utile T_u.

6 - Puissance fournie par le moteur.

La puissance est le travail fourni par seconde. En général on l'exprime en chevaux (1 cv = 75 kgm/s = 736 watts).

L'effort agissant sur le piston est :

$$\frac{\pi d^2}{4} \times P_i \qquad (d = \text{alésage})$$

Le chemin parcouru pour 1 tour est 2 c (c = course).

Le chemin parcouru par le piston pour n tours par minute est 2 cn.

Or il y a un temps moteur sur 4, donc le chemin effectif auquel correspond le travail indiqué est :

$$\frac{2\ c\ n}{4}$$

Le travail indiqué pour 1 minute est donc :

$$T_i = \frac{\pi d^2}{4}\ P_i\ \frac{2\ c\ n}{4}$$

En 1 seconde, le travail indiqué est (d et c en cm)

$$T_i = \frac{\pi d^2}{4}\ P_i\ \frac{c\ n}{2}\ \frac{1}{60}\ \frac{1}{100}\ \text{kgm/s}$$

en cv on a pour N cylindres

$$T_i = \frac{\pi d^2}{4}\ P_i\ \frac{c\ n}{2}\ \frac{1}{60}\ \frac{1}{100}\ \frac{N}{75}\ \text{cv}$$

et la puissance indiquée sera :

$$W_i = P_i\ \frac{\pi d^2}{4}\ c\ \frac{N.\ n}{9.\ 10^5}\ \text{cv}$$

La puissance utile sera :

$$W_u = \eta_m\ W_i = P_e\ \frac{\pi d^2}{4}\ c\ \frac{N\ n}{9\ 10^5}\ \text{cv} = K'.\ P_e.\ n$$

On pourrait écrire aussi :

$$P_e = \frac{W_u}{\frac{\Pi d^2}{4} c \frac{N n}{9.10^5}} = \frac{1}{\frac{\Pi d^2}{4} c \frac{N}{9.10^5}} \cdot \frac{W_u}{n} = K.\frac{W_u}{n} = \frac{1}{K'} \frac{W_u}{n}$$

qui est à la base de l'utilisation des courbes moteurs.

R E N D E M E N T S

Si nous savions transformer l'énergie sans perte, l'énergie recueillie serait égale à l'énergie fournie. Le bilan thermique a montré qu'il n'en était rien et que le rendement était toujours inférieur à 1.

1 - On appelle " rendement thermique théorique " le rapport entre l'énergie thermique transformée en travail et l'énergie thermique fournie dans le cycle théorique.

C'est le rendement maximum que l'on pourrait atteindre si le moteur fonctionnait suivant le cycle de CARNOT et sans qu'il y ait de perte.

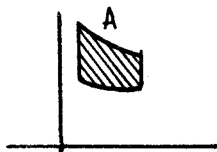
Si T_2 est la température d'explosion, T_3 celle de sortie des gaz à l'échappement et T_o la température extérieure :

$$\eta_t = 1 - \frac{T_3}{T_2} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma - 1}}$$

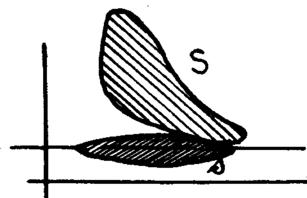
Plus ε est grand, plus le rendement est élevé.

Si $\varepsilon = 6$, $\eta_t = 0,42$

2 - On appelle " rendement interne " ou " rendement du diagramme " le quotient de travail indiqué, correspondant au diagramme réel, par le travail correspondant au diagramme théorique.



$$\eta_{int} = \frac{S - s}{A}$$



Pour un moteur bien réglé, on a : $\eta_{int} = 0,85$ à $0,95$

3 - On appelle " <u>rendement thermique indiqué</u> " η_{ind} le rapport entre l'énergie thermique transformé en travail indiqué, et l'énergie thermique totale apportée. On a donc :

$$\eta_{ind} = \eta_t \times \eta_d$$

et pour $\varepsilon = 6$, ce rendement est de 0,36 à 0,38.

4 - On appelle " <u>rendement mécanique</u> " η_m le rapport entre le travail disponible sur l'arbre et le travail indiqué.

η_m varie de 0,8 à 0,9

5 - On appelle " <u>rendement global</u> " ou " <u>rendement économique</u> " le rapport entre l'énergie thermique correspondant au travail disponible sur l'arbre, et l'énergie thermique totale apportée.

Ce rendement est donc égal au produit des 3 précédents :

$$\eta = \eta_t \times \eta_{interne} \times \eta_m$$

Il varie de 0,26 à 0,30.

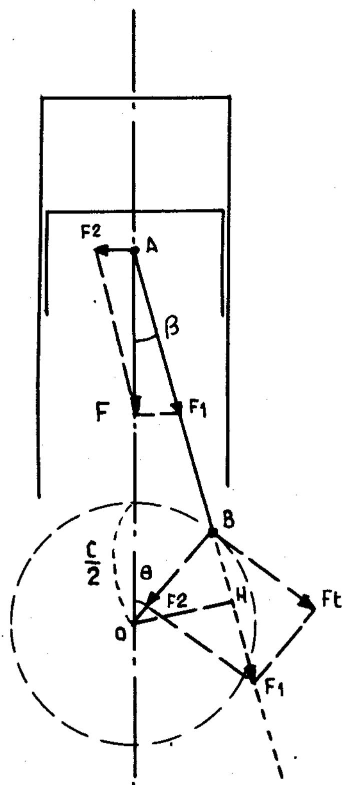
<u>Remarques</u>.

1 - η_d est < 1 car les transformations ne sont pas rigoureusement adiabatiques, le remplissage est imparfait, le mélange n'est pas parfaitement homogène, il n'a pas le temps de s'enflammer complètement, il y a des pertes par les parois, il y a des fuites aux segments, on a un travail d'aspiration et d'échappement.

On remédie à cela par la forme des chambres d'explosion, l'augmentation du nombre des soupapes, la multiplication des points d'allumage, le perfectionnement des carburateurs, le réchauffage du mélange, l'augmentation des vitesses de rotation, etc...

2 - η_m est < 1 par suite des pertes par frottement, qu'on cherche à améliorer en soignant la construction du moteur dans tous ses détails.

Force d'impulsion.



Soit F la force pendant le temps de détente ; si p est la pression,

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \times p$$

F se décompose en F_1 et F_2, F_2 appuyant le piston sur la paroi.

F_1 et F_2 sont fonction de p, θ, β

$$F_1 = \frac{F}{\cos \beta}$$

$$F_2 = F \operatorname{tg} \beta$$

sont maximum lorsque $\beta = 34°$

On transporte F_1 de A et B et on décompose F_1 en 2 nouvelles forces F_t et F_r, F_t étant maximum pour $\beta = 34°$ et F_r appuyant le vilebrequin sur ses portées.

On appelle moment moteur, ou couple moteur le moment de la force motrice F_1 par rapport à l'axe O du vilebrequin.

On appelle couple tangentiel le moment de la force tangentielle F_t par rapport à O.

On appelle couple de renversement le moment de la force de réaction F_2 par rapport à l'axe O.

Ces 3 moments sont égaux. En effet,

$$m_o^t F = m_o^t F_1 + m_o^t F_2$$

$$0 = m_o^t F_1 + m_o^t F_2$$

$$m_o^t F_1 = - m_o^t F_2$$

On a aussi :

$$m_o^t F_1 = m_o^t F_t + m_o^t F_r$$

$$m_o^t F_1 = m_o^t F_t + 0$$

$$m_o^t F_1 = - m_o^t F_t$$

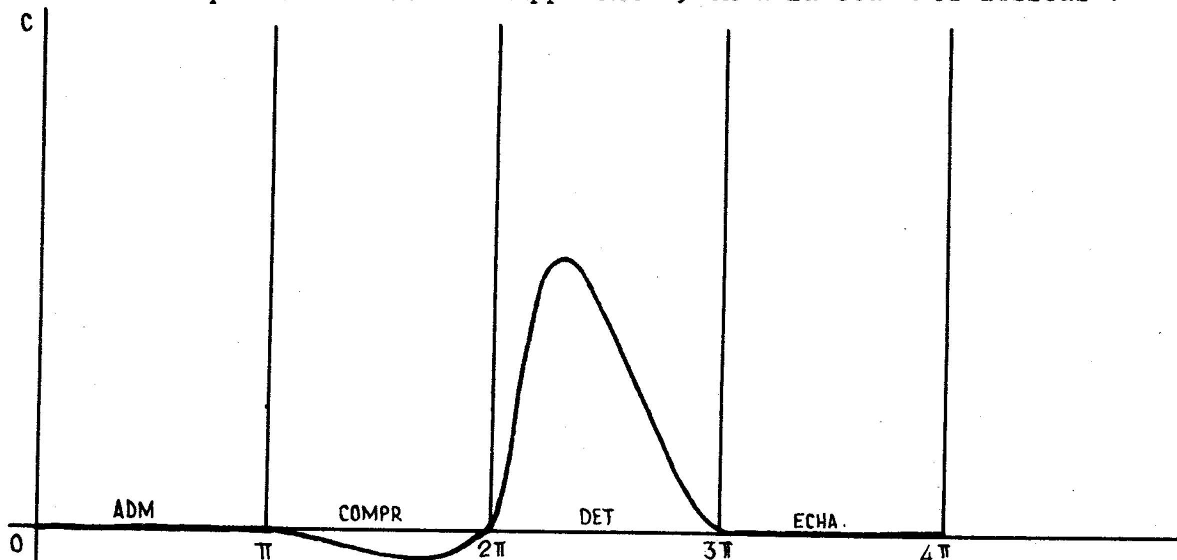
donc, en valeur absolue :

$$m_o^t F_1 = m_o^t F_2 = m_o^t F_t$$

Variation du couple moteur.

Le couple moteur dépend donc de F_1 et de O H. Or, F_1 varie avec la pression dans le cylindre et avec l'obliquité de la bielle ; O H varie avec la position du vilebrequin. Si on détermine F_1 et O H à chaque instant, on peut tracer la courbe du couple.

Si on suppose qu'il n'y a pas de travail dans les temps " aspiration " et " échappement ", on a la courbe ci-dessous :



Pour régulariser le couple, il faudra soit adjoindre un volant, soit augmenter le nombre des cylindres.

Influence de l'inertie.

Dans les moteurs tournant à des régimes élevés, on ne peut négliger les forces d'inertie du fait des variations d'accélération du piston ; l'effort F appliqué au piston n'est pas entièrement transmis au pied de bielle, et une partie de cet effort sert à communiquer aux pièces en mouvement alternatif leur accélération tandis qu'à d'autres moments ces pièces restituent une certaine quantité de travail.

L'inertie provenant des pièces animées d'un mouvement de translation est crée par la masse M'.

$$M' = m' + m'_1$$

m' = masse du piston complet, masse du pied de bielle, masse d'une partie du corps de bielle ; en effet, la bielle de masse M_1 peut être décomposée en 2 masses m'_1 et m'_2 concentrées l'une sur l'axe du piston l'autre sur l'axe du maneton à condition que leur centre de gravité soit le même que celui de la bielle.

$$\text{Si} \quad \lambda = \frac{l}{c} = \frac{\text{longueur de la bielle}}{\text{course}}$$

Le calcul permet d'obtenir, en prenant l'origine des déplacements au P M H.

$$x = \frac{c}{2} \; (1 - \cos \theta) + \frac{1 - \cos^2 \theta}{4 \lambda}$$

$$u = \frac{\omega c}{2} \; \left(\sin \theta + \frac{\sin 2\theta}{4 \lambda} \right)$$

$$\gamma = \frac{\omega^2 c}{2} \; \left(\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{2 \lambda} \right)$$

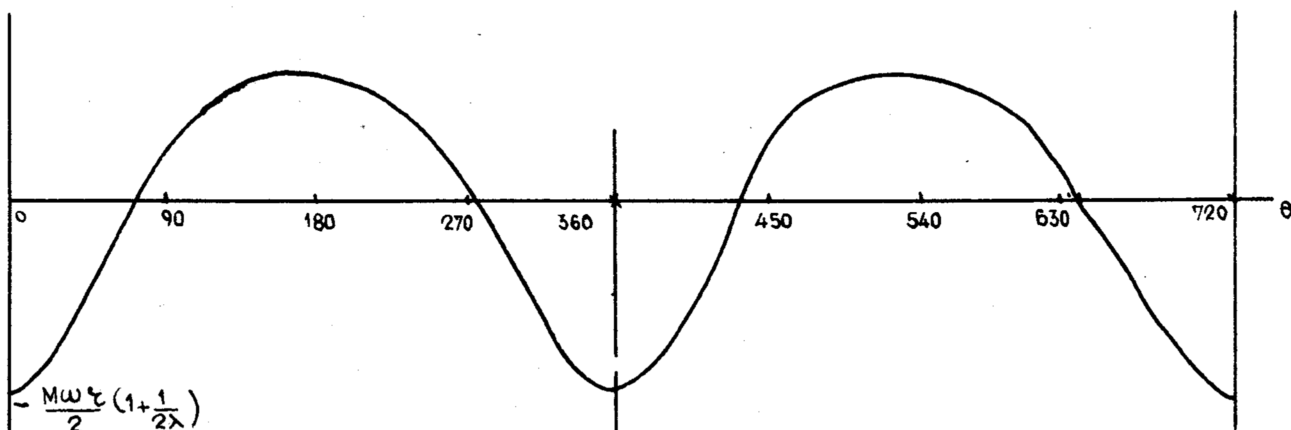
La force d'inertie est donc :

$$C = - m. \gamma$$

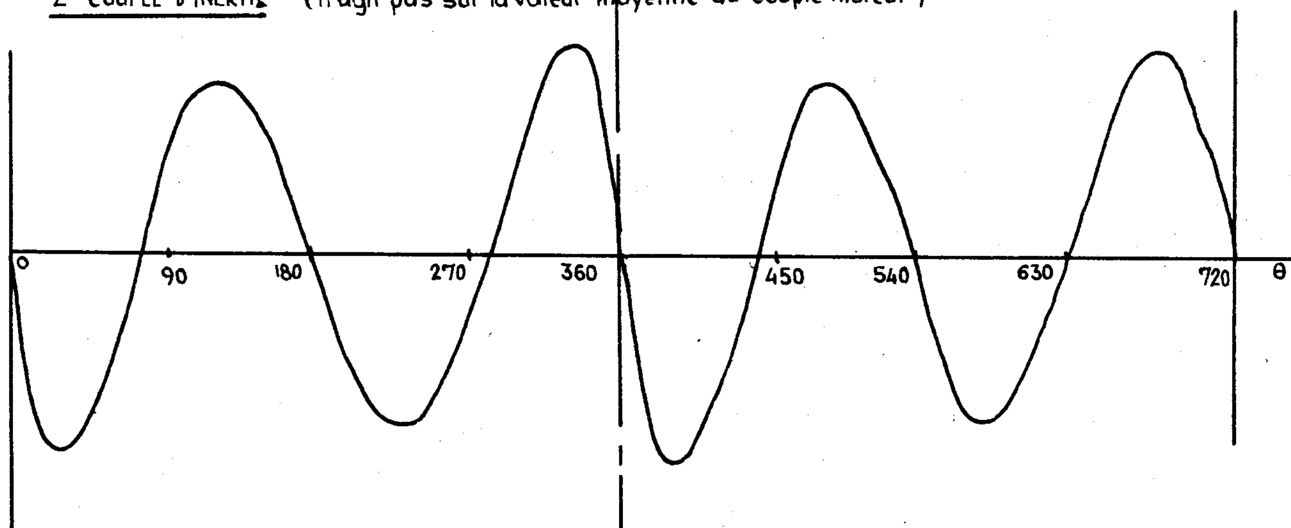
et peut être représentée graphiquement comme suit :

1° FORCE D'INERTIE

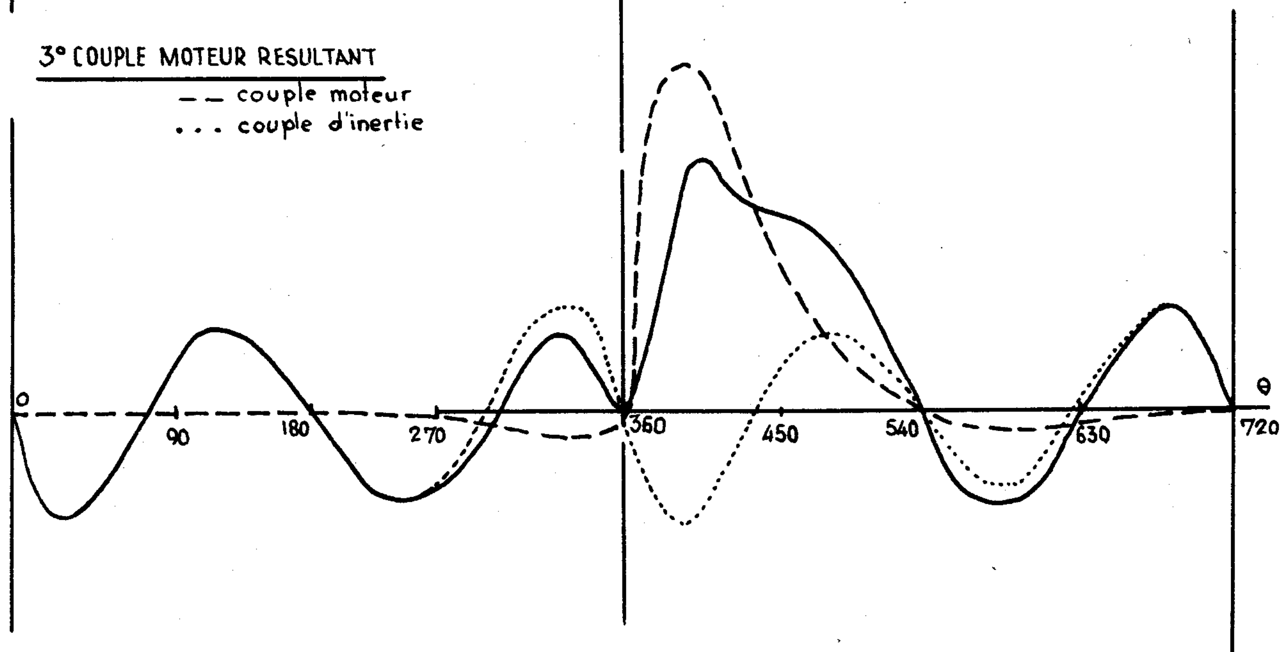
$\lambda = \frac{\ell}{c} = 2$ C : course
λ = longueur bielle



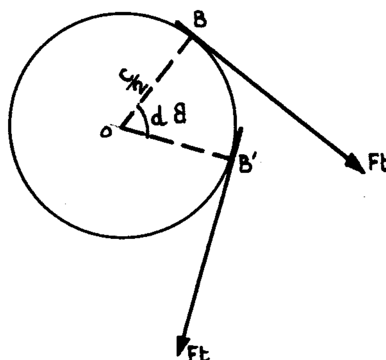
2° COUPLE D'INERTIE (n'agit pas sur la valeur moyenne du couple moteur)



3° COUPLE MOTEUR RESULTANT



Autre expression de la puissance.



A chaque instant la force tangentielle F_t développe un certain travail

$$F_t \times BB' = F_t . \frac{C}{2} . d\theta$$

Or $F_t \times \frac{C}{2}$ = couple moteur C et si ω est la vitesse angulaire la puissance sera :

$$W = C.\omega.$$

où $\omega = \frac{2 \Pi n}{60}$, n étant le nombre de tours par minute.

La puissance moyenne pendant le cycle sera le produit du couple moyen par la vitesse angulaire.

$$W_u = C. \omega = C. \frac{2 \Pi n}{60} . \frac{1}{75} \text{ c v}$$

Puissance massique : c'est la puissance par kilogramme de poids.

Masse puissancique : C'est le poids du moteur, rapporté à l'unité de puissance.

Ex : Un moteur de 1200 cv pesant 650 k a une puissance massique de 1,84 cv par kilog.

Les facteurs d'accroissement de la puissance massique sont nombreux.

- Certains viennent de la construction du moteur ;
- d'autres ont pour effet une augmentation de couple ;
- d'autres ont pour effet une augmentation de vitesse angulaire ;

1 - On peut en effet disposer les cylindres de façon à réduire le nombre des manetons et le volume des carters (moteur en étoile).

On adopte le refroidissement par air.

On réduit le poids des organes en mouvement.

2 - Pour augmenter le couple, on assure le meilleur remplissage possible, on augmente la compression.

3 - Pour augmenter la vitesse angulaire, on améliore le graissage, l'évacuation des gaz brûlés ; on réduit les forces d'inertie.

Courbes caractéristiques d'un moteur.

Les essais au banc d'un moteur, à pleine admission et à différentes vitesses de rotation permettent d'établir 3 courbes.

1 - Couple moyen transmis par l'arbre : le couple est mesuré directement. Comme il est proportionnel à la pression efficace, les 2 courbes ont donc la même allure.

2 - Puissance disponible W_e : W_e se déduit directement de la mesure du couple et de la vitesse ; la puissance commence par croître avec la vitesse, passe par un maximum puis décroît.

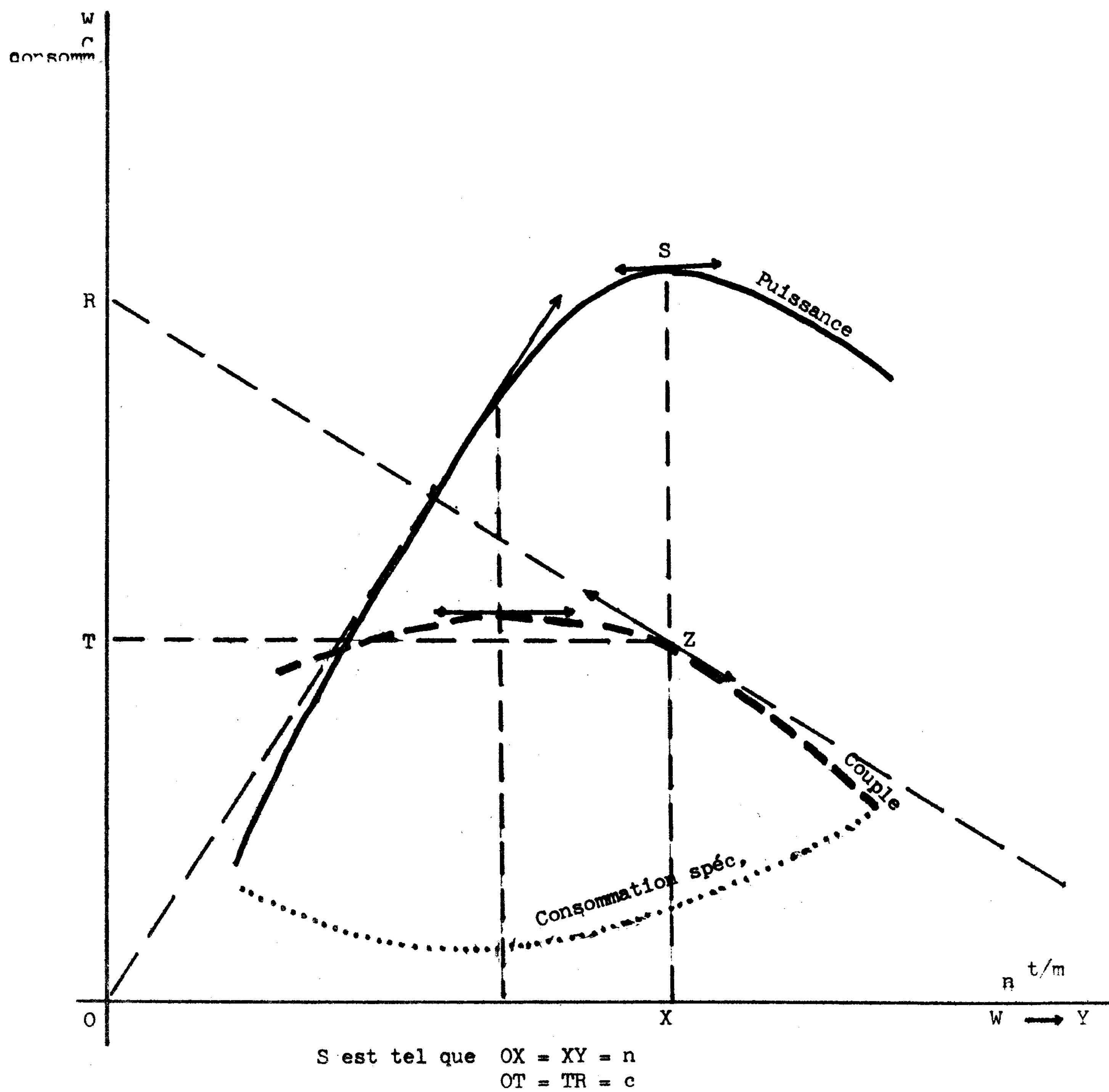
3 - Consommation essence en g/cv.h ou consommation spécifique.
Le remplissage et la consommation spécifique varient en sens inverse.

Le diagramme ci-après donne la situation relative de ces courbes.

Remarques concernant ces courbes.

Nous voyons sur les courbes que le couple varie peu jusqu'à une certaine vitesse, le remplissage étant jusqu'alors satisfaisant.

COURBES CARACTERISTIQUES



S est tel que OX = XY = n
OT = TR = c

ωcroit, W croit sensiblement proportionnellement.

A partir d'une certaine vitesse, le remplissage est moins bon aussi le couple décroit-il de plus en plus, la puissance finissant par décroitre à son tour.

Les difficultés d'évacuation des gaz brûlés, les difficultés d'allumage contribuent à diminuer encore le couple et à augmenter la consommation spécifique.

Suivant les moteurs, la courbe de puissance est plus ou moins plate. On a alors des moteurs souples et plats, s'accommodant de grandes variations de vitesse sans perdre beaucoup de puissance.

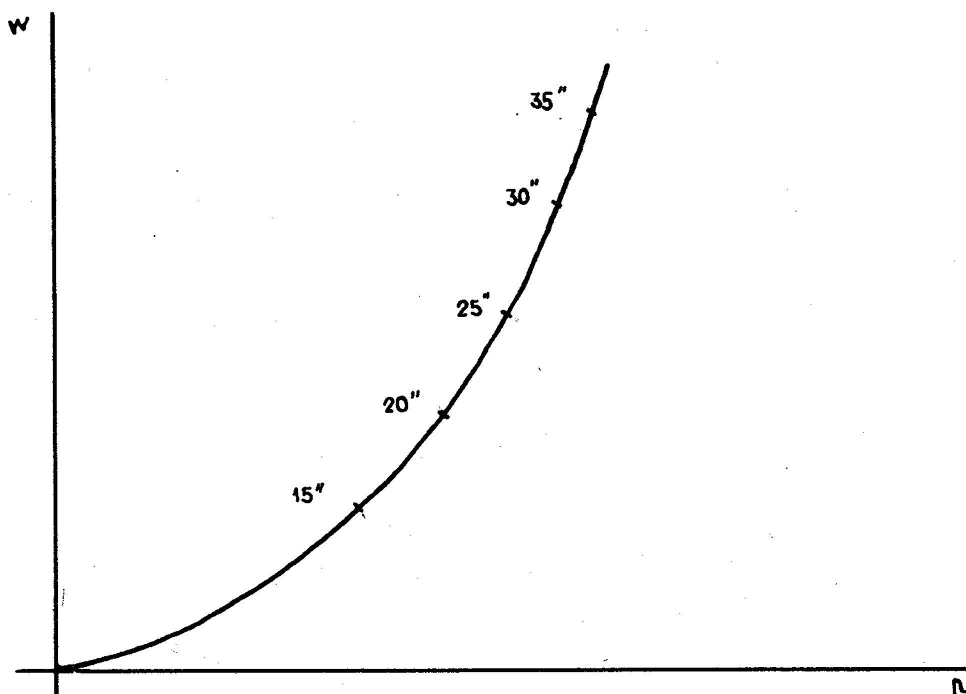
On a aussi des moteurs poussés, nerveux, à bonnes reprises mais qu'on doit utiliser dans une marge de vitesse plus étroite.

Dans tous les cas, la zone d'utilisation la plus favorable se situe entre le maximum de couple et le maximum de puissance (conduite sportive sur une voiture).

Courbe d'utilisation.

Considérons un moteur freiné par un moulinet, une hélice à pas fixe ou tout autre moyen, réglé pour absorber la puissance maximum à la pression d'admission maximum autorisée.

En faisant varier l'admission on obtient pour chaque valeur du nombre de tours une valeur correspondante de la puissance et la courbe ainsi obtenue est la courbe d'utilisation. Pour une hélice, cette courbe est une cubique $W = A N^3$



Elle peut être graduée en pressions d'admission. On a alors le point de départ des abaques moteur. Cependant dans le vol en montée ou en descente à pression d'admission constante, les conditions de freinage sont modifiées et on doit alors considérer la courbe caractéristique ; la puissance est alors proportionnelle au nombre de tours.

CHAPITRE III

FONCTIONNEMENT EN ALTITUDE

FONCTIONNEMENT EN ALTITUDE

Atmosphère standard : Lorsque l'altitude augmente, la pression et la température diminuent. On appelle " atmosphère standard " une atmosphère conventionnelle qui fixe pour chaque altitude les valeurs de la pression, de la température et du poids spécifique.

Influence de l'altitude sur le fonctionnement du moteur.

Si un moteur ordinaire fonctionne en altitude, on constate un trouble de carburation car la richesse du mélange gazeux varie et augmente au fur et à mesure de la diminution de la pression atmosphérique.

L'abaissement de la température diminue l'aptitude de l'essence à se vaporiser et on y remédie par le réchauffage du carburateur.

Variation de la puissance indiquée avec l'altitude.

L'aire du diagramme varie, c'est-à-dire la puissance indiquée varie :

- proportionnellement à la pression de l'air admis ;

- inversement proportionnellement à la température absolue de l'air admis ;

Ce qui se traduit par :

$$W_z = \delta_z . W_i \quad \text{avec} \quad \delta_z = \frac{a_z}{a_o}$$

ou, de préférence par :

$$W_z = W_i . \frac{H_z}{760} . \frac{515}{500 + t_z}$$

H étant la pression atmosphérique, t_z la température en degré centigrades.

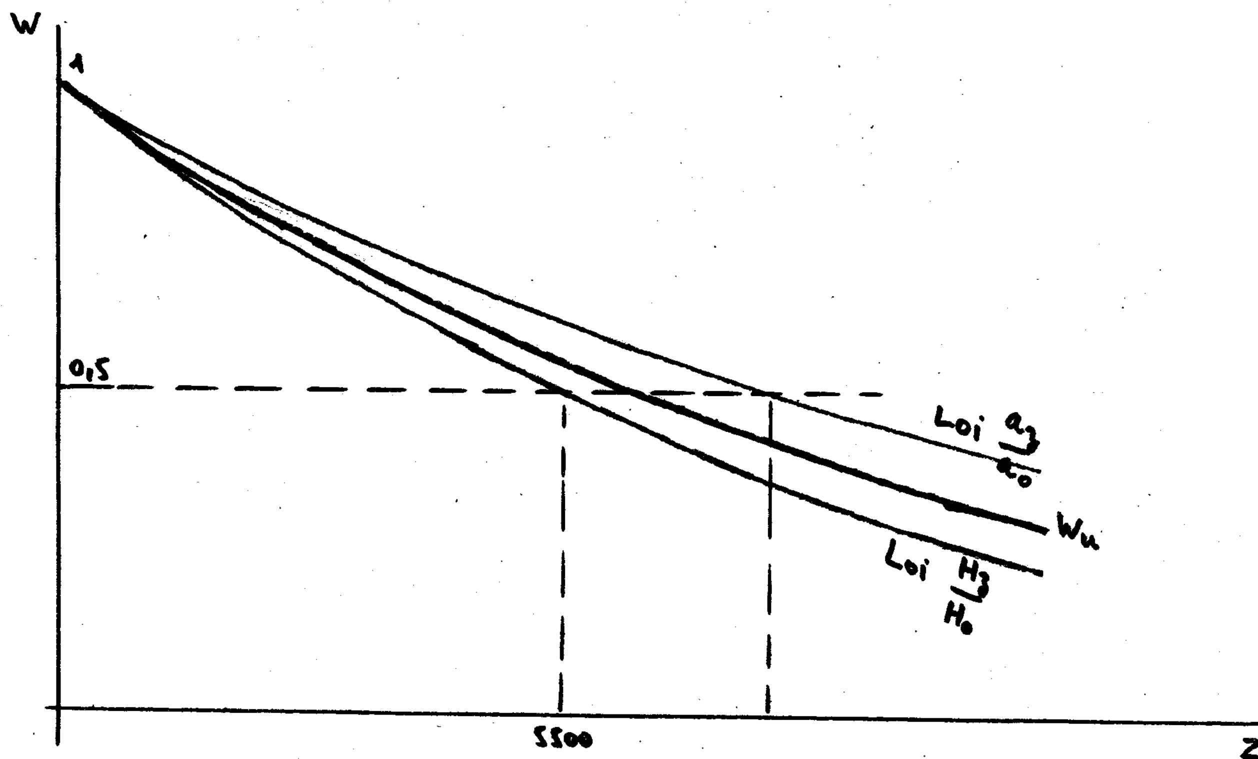
Variation de la puissance utile avec l'altitude.

Tant que la densité varie faiblement, la puissance utile varie sensiblement proportionnellement à la densité de l'air admis lorsque le moteur fonctionne à pleine puissance.

A une altitude quelconque, la densité de l'air varie considérablement et la puissance utile varie suivant une loi qui se rapprocherait de celle de la pression atmosphérique.

En effet, les accessoires demandent une puissance sensiblement constante dont l'influence est ainsi plus importante à l'altitude Z qu'à l'altitude 0 ; enfin l'influence relative des pertes augmente avec l'altitude.

Le rechauffage des gaz admis est généralement constant en altitude, ce qui tend à éloigner la courbe de variation de la puissance utile de celle de la variation de la densité.



Une représentation approchée de W_u est donnée par la loi :

$$W_z = W_o \left(\frac{H_z - h_z}{760} \times \frac{572}{500 + t_z} - 0{,}111 \right)$$

où h_z est la tension de la vapeur d'eau à l'altitude z.

Pour remédier à cette diminution de puissance, on a recours :

- à la surcompression
- à la suralimentation

<u>Influence de l'altitude sur la richesse du mélange.</u>

Cette question sera revue avec la carburation.

Nous précisons simplement que :

- la densité de l'essence est constante avec l'altitude ;
- la densité de l'air décroit avec l'altitude et suit une loi voisine de celle de la pression atmosphérique.

et on a :

$$r_z = r_o \sqrt{\frac{H_o}{H_z}}$$

ou

$$r_z = r_o \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu}} \quad \text{avec } \mu = \frac{H_z}{H_o}$$

donc la richesse croit avec l'alitude et si on veut maintenir de bonnes conditions de mélange, il faudra freiner le débit d'essence.

Avec l'altitude, le mélange qui s'enrichit peut causer des troubles de carburation. La correction altimétrique a pour but de maintenir le mélange, et donc la consommation spécifique, constants.

Influence de l'altitude sur la consommation spécifique.

Le moteur qui donne W_o au sol donne W_z à l'altitude z

$$W_z = W_o . \mu \qquad \text{avec} \quad \mu = \frac{H_z}{H_o}$$

La consommation spécifique croit comme la richesse.

$$C_z = C_o \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

Influence de l'altitude sur le rendement économique.

Ce rendement découlant d'une mesure de puissance et d'une mesure de consommation, il décroit avec l'altitude et

$$\eta_z = \eta \sqrt{\mu}$$

Augmentation du couple moteur en altitude.

1 - Compression optimum à chaque altitude.

Si on suppose constants le rendement mécanique et le rendement du diagramme, la pression moyenne, le couple et la puissance pour la même vitesse de rotation augmentent proportionnellement au rendement

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma - 1}}$$

c'est-à-dire avec la compression ε

La compression optimum ε correspond à une pression p_1 en fin de compression, et à une température T_1

$$p_1 = p_o \ \varepsilon^{\gamma} \qquad T_1 = T_o \ \varepsilon^{\gamma - 1}$$

p_1 croit plus vite que T_1 et par conséquent limite le taux de compression.

quand l'altitude croit, la pression atmosphérique devient

$$P_z = \mu \cdot P_o$$

et par conséquent la pression en fin de compression devient

$$P'_1 = (\mu P_o) \varepsilon^{\gamma}_o = \mu P_1$$

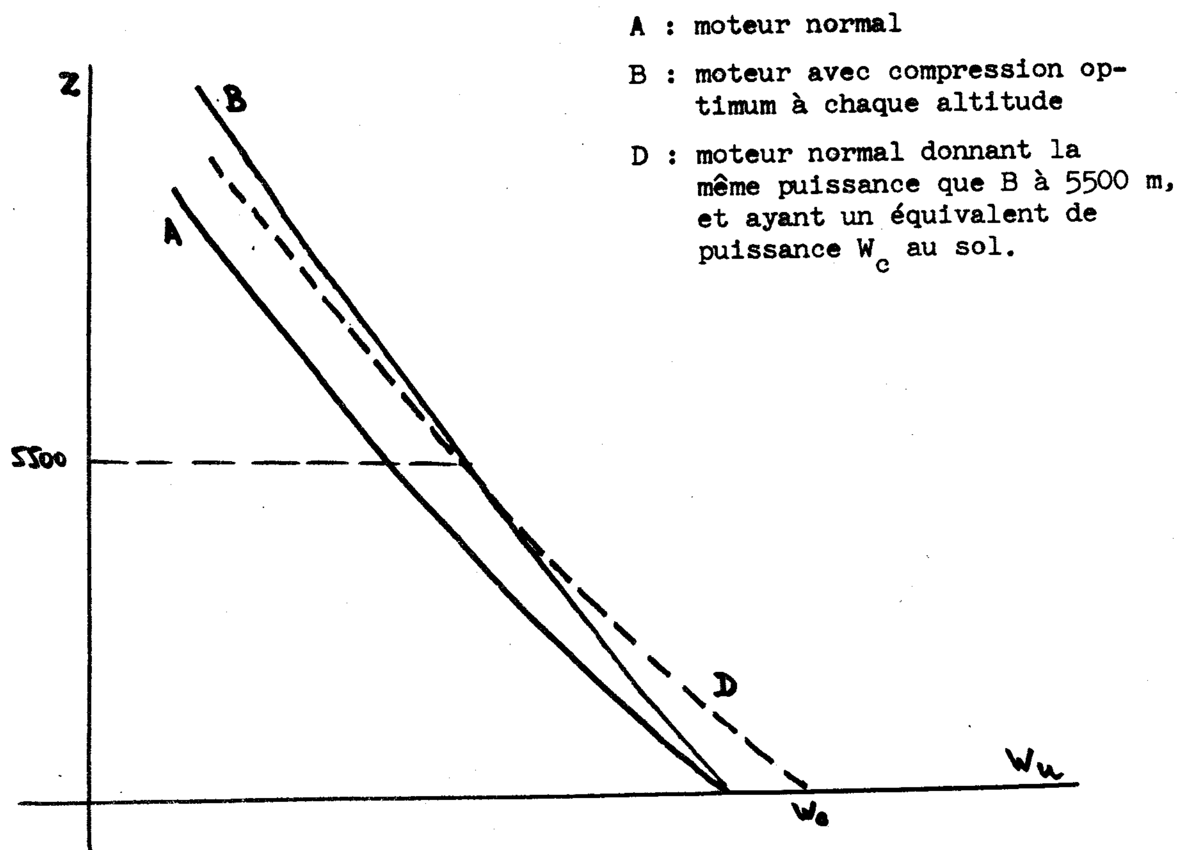
elle a diminué, et la puissance du moteur aussi.

Il conviendrait donc d'augmenter le taux de compression pour maintenir Cte la pression en fin de compression

$$P_1 = P_o \cdot \varepsilon_o^{\gamma} \doteq \omega P_o \cdot \varepsilon_z^{\gamma}$$

$$\varepsilon_z = \varepsilon_o \left(\frac{1}{\mu} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

Le moteur ayant cette puissante optimum à chaque altitude aurait la courbe B.



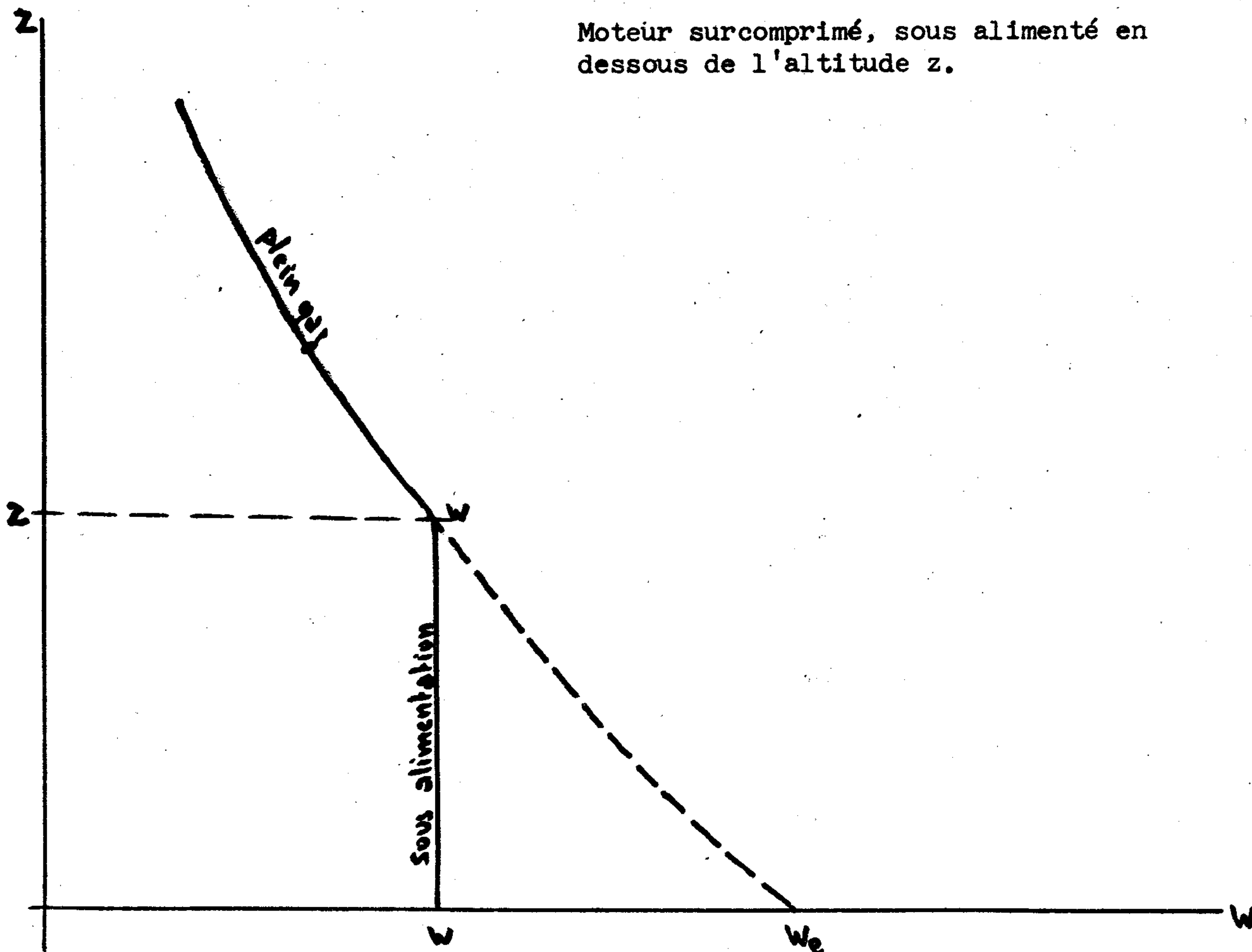
2 - Moteurs surcomprimé - sous alimenté.

Un tel moteur a un taux de compression optimum pour une certaine altitude z ; ce taux sera donc supérieur au taux de compression optimum au sol. Si on le fait fonctionner pleine admission au sol, on aura de la détonation et de l'auto-allumage.

Aussi ce moteur est-il sous-alimenté en dessous de son altitude normale d'utilisation pour laquelle il est plein gaz.

On peut ainsi avoir une butée mécanique limitant la course des gaz en dessous de l'altitude z, soit mettre un dispositif automatique.

L'équivalent de puissance est la puissance W_e qui donnerait au sol un moteur normal, donnant la puissance W à l'altitude z (voir diagramme ci-après).



Moteur surcomprimé, sous alimenté en dessous de l'altitude z.

3 - Moteur suralimenté.

A égalité de rendement thermique et mécanique, la puissance d'un moteur est proportionnelle au poids du mélange gazeux admis dans les cylindres. Donc la puissance est proportionnelle à la pression d'admission.

La suralimentation a pour but de conserver constante la pression d'admission au fur et à mesure que l'avion monte.

Actuellement la suralimentation a lieu dès le sol, sans voir apparaître des effets de détonation car on a ainsi une proportion de gaz frais plus importante et par suite une température plus basse. Enfin le compresseur réalise un bon brassage des gaz et un meilleur balayage des gaz résiduels, d'où nouvel abaissement des températures. Enfin le compresseur permet d'obtenir une meilleure pulvérisation et une meilleur homogénéïté du mélange, tous facteurs favorables à une bonne combustion sans détonation.

Cependant on est obligé au sol et aux basses altitudes de limiter la pression d'admission pour éviter la détonation et la fatigue des pièces.

3 - 1 - Puissance absorbée par le compresseur.

Une partie de la puissance servira à comprimer le mélange. Compte tenu du rendement du compresseur, on peut admettre que pour avoir une pression d'admission de 760 mm Hg à 5500 m, le travail absorbé sera égal au 1/10 de la puissance du moteur.

On disposera donc sur l'arbre de $W - \frac{W}{9}$ alors que sans suralimentation on aurait eu seulement que 0,5 W.

En réalité, la puissance absorbée par le compresseur est en grande partie compensée :

- par les gains dus à une contrepression moindre à l'échappement.

- par l'abaissement de la température ambiante.

COMPRESSEUR A UNE VITESSE

Z

D

Altitude de rétablissement

C plein gaz

Montée à pression d'admission constante

Montée à puissance constante

B'

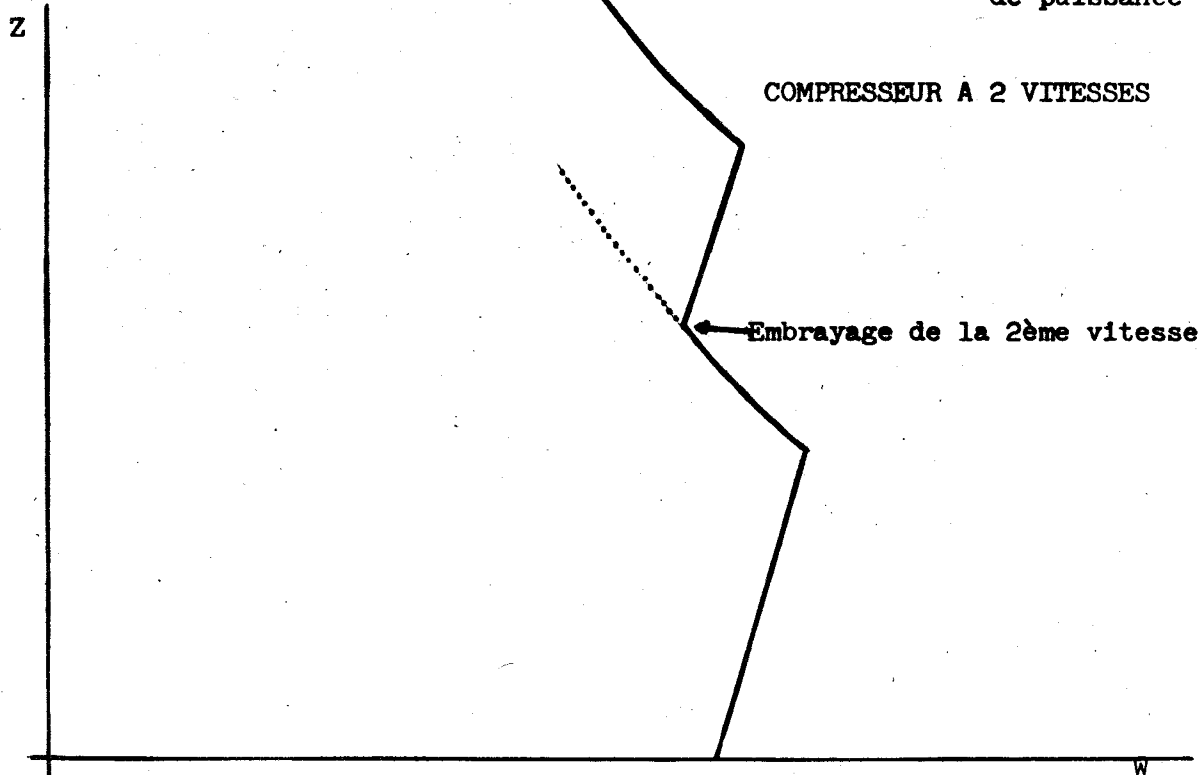
B

A

W

We

Equivalent de puissance



- par le gain dans le temps " admission " qui devient moteur.

Pour le décollage, on utilisera une pression d'admission élevée, mais pendant un temps limité pour ne pas fatiguer les organes du moteur.

Aussitôt après le décollage on fera une réduction de pression d'admission et on conduira le moteur suivant les principes qui seront vus au chapitre " courbes moteur ".

Les compresseurs peuvent être classés suivant leur rapport de compression r :

$$r = \frac{\text{pression air sortie}}{\text{pression air entrée}}$$

et ce rapport est actuellement, pour les moteurs à explosion, à un maximum de 2 pour les compresseurs qui rétablissent vers 5000 m.

Les compresseurs qui rétablissent vers 1500 - 2000 m sont appelés des demi-compresseurs, des brasseurs ou des gaveurs.

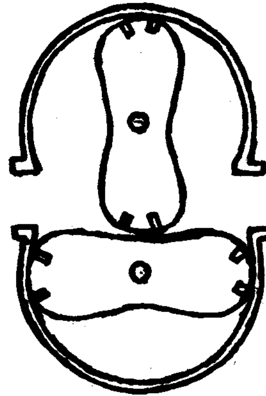
Nous avons vu que la puissance absorbée par le compresseur en dessous de l'altitude de rétablissement n'était pas négligeable, et était fonction du rapport de compression, autrement dit de l'altitude choisie. De plus, un rapport élevé conduit à des températures de mélange élevées.

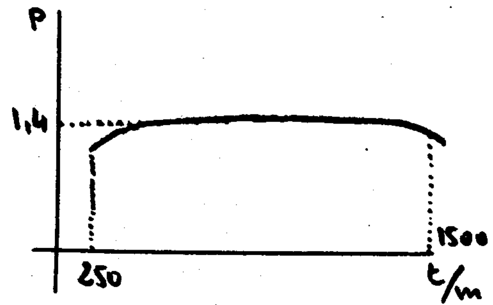
Pour les avions volant à haute altitude, on a donc envisagé des compresseurs à 2 roues dont une débrayable, des compresseurs à 2 vitesses commandées par un embrayage.

Différents types de compresseurs.

L'air extérieur peut être comprimé avant son passage dans le carburateur ; mais aussi le mélange air - essence peut être comprimé à sa sortie du carburateur. Dans un cas comme dans l'autre, la compression est assurée par un compresseur entrainé par le moteur, soit mécaniquement, soit par des turbines entrainées par les gaz d'échappement.

Tous les types de compresseur peuvent être utilisés. Pourtant seul le compresseur centrifuge s'est imposé pour les moteurs à explosion en aviation, alors que les compresseurs volumétriques, qui donnent des pressions sensiblement constantes, sont utilisés sur des moteurs d'automobile. Dans ce dernier, la rotation engendre les variations de volume d'air nécessaire à l'alimentation du moteur ; leur principal inconvénient réside dans les difficultés d'étanchéïté.





3 - 2 - Compresseurs centrifuges.

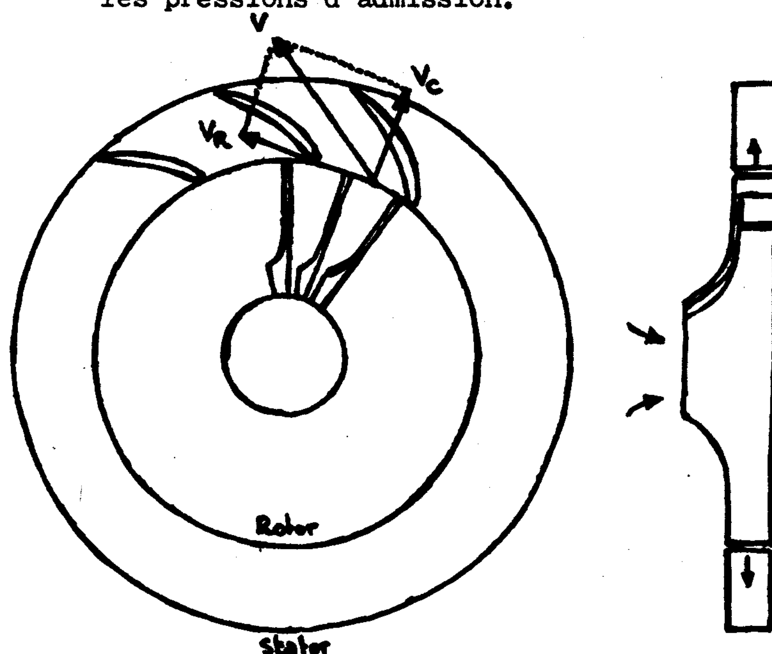
Dans ceux-ci, une roue munie de palettes (ou d'aubes) tourne très rapidement ; l'air qui est au centre est chassé vers la périphérie par la force centrifuge avec d'autant plus de pression que la vitesse périphérique est grande, le débit étant lui-même d'autant plus grand que la roue est grande. Toutefois on peut avoir le même débit avec une grande roue tournant lentement et une petite roue tournant vite.

Le vide qui se produit au centre de la roue crée un appel d'air qui est à son tour projeté à l'extérieur.

Un diffuseur de sortie amortit cette vitesse et la transforme en pression et le fluide est ensuite refoulé dans les canalisations d'admission.

La pression est variable avec le nombre de tours ce qui est sans inconvénient pour un moteur d'avion où le régime est sensiblement constant.

Lorsque le compresseur est monté en prise directe sur le moteur, il faut mettre une vanne à l'entrée d'air pour pouvoir régler les pressions d'admission.



Pompage : Il peut se produire des décollements des filets d'air à la surface des pales du rotor, ou des aubes du stator. On perçoit alors des bruits violents discontinus et des claquements. Il est favorisé par des vitesses relatives de l'air s'approchant de celle du son, qui provoquent des changements d'allure dans l'écoulement aérodynamique, et des ondes de choc.

Adaptation du compresseur au moteur.

On distingue l'adaptation en pression, l'adaptation au débit et l'obtention d'une bonne efficacité.

L'accroissement de l'altitude de vol des avions entraine la nécessité de compresseurs à plusieurs vitesses ou à circulation variable de façon à éviter une perte considérable de puissance au sol et aux altitudes inférieures à celle de l'altitude de rétablissement.

Cette adaptation peut être faite par un changement de vitesse non progressif, soit par commande manuelle à la disposition, soit automatiquement par l' action de la pression atmosphérique.

Dans le premier cas, le pilote doit embrayer sa 2ème vitesse d'après les indications de la pression d'amission et de l'altitude : c'est le cas des avions commerciaux dont les vols de longue durée à des régimes constants évitent les manoeuvres trop fréquentes de l'embrayage.

L'agent moteur actionnant l'embrayage est en général l'huile sous pression dérivée du circuit de graissage moteur.

Il peut exister des changements de vitesse progressifs basés sur des accouplements hydrauliques permettant des glissements plus ou moins importants suivant la quantité d'huile brassée par les aubages de la roue montée sur l'arbre moteur et ceux de la route montée sur l'arbre du compresseur.

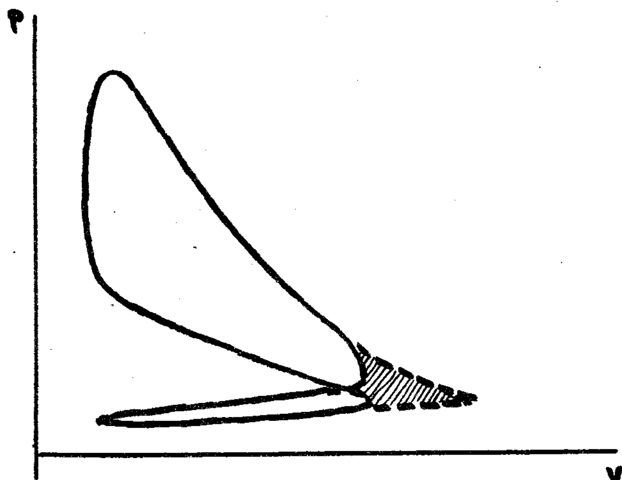
Enfin, on peut concevoir une adaptation par volute d'admission comprenant des aubages directeurs réglables, permettant aux filets d'air d'attaquer la turbine sous des angles variables.

D'une façon générale, la solution retenue en aviation commerciale est :

compresseur à 1 ou 2 vitesses - aubages d'entrée - aubages de sortie donnant un bon rendement sans complication mécanique inutile.

La limitation de pression est obtenue par un volet limiteur de pression - en général le papillon du carburateur quand celui ci est " aspiré " ce qui est le cas général actuellement. Dans le cas d'un carburant " soufflé ", il faudrait à l'entrée d'air un volet limiteur qui, dans les solutions retenues par Hispano sur les moteurs 12 X, 12 Y était à commande automatique.

Tous les compresseurs dont il a été question jusqu'ici sont des compresseurs à entrainement mécanique. Il existe aussi des compresseurs entrainés par une turbine actionnée par les gaz d'échappement : ce sont les turbocompresseurs, dont les premiers modèles sont les Rateau, nés en 1917.



Nous avons vu que les gaz au début de l'échappement sont à une pression de 3 à 4 kilogs et l'énergie correspondante est à peu près perdue : c'est ce qu'on appelle la perte par " détente tronquée ". La turbine permet de récupérer cette énergie (zone hachurée du diagramme ci-contre).

Le turbo compresseur Rateau comprend essentiellement une turbine qui actionne un compresseur. En fait, les gaz n'arrivent pas à la turbine à la pression de 3 à 4 K. mais ils commencent à se sous-détendre sans travail extérieur pour être à 2K. environ à la turbine.

Le gain de puissance possible par ce système est supérieur de 1,5 fois environ au gain qui serait réalisé par l'échappement libre. On aura donc toujours avantage à utiliser la turbine, le cycle ayant en quelque sorte 2 temps supplémentaires. Le système est sensiblement auto-régulateur car la vitesse d'écoulement des gaz est en effet fonction de la pression ambiante.

La réalisation de l'ensemble est très délicate, par les précautions nécessaires contre l'incendie.

La régulation de l'appareil s'avère délicate. Elle porte sur 2 points : maintien de la pression d'admission à une valeur donnée quand l'altitude varie, et limitation de la vitesse de rotation des roues du turbocompresseur. Elle se fait par action conjugée :

- d'une capsule barométrique soumise à la pression d'admission
- d'un régulateur à force centrifuge
- quelquefois avec l'aide d'un détecteur de vitesse de rotation

4 - Moteur compound.

En vue d'accroître l'autonomie des avions de transport, on a associé une turbine fonctionnant sur les gaz d'échappement à un classique moteur à piston. C'est le cas du moteur Wright équipant les Super Constellation 1049.

Ce moteur est doté de 3 turbines supplémentaires, disposées derrière le moteur à 120° les unes des autres et alimentées par des tuyauteries d'échappement venant de groupes déterminés de 6 cylindres ; ainsi les gaz peuvent se détendre avec une liberté relative et il n'y a pas besoin d'augmenter la pression d'échappement (système Blow down).

L'axe de rotation de chaque turbine est radial, c'est-à-dire que l'ensemble converge vers le centre.

La sortie des gaz après cette seconde phase de travail s'effectue dans un collecteur torique où on pourrait concevoir une turbine recuperant le reste de l'énergie.

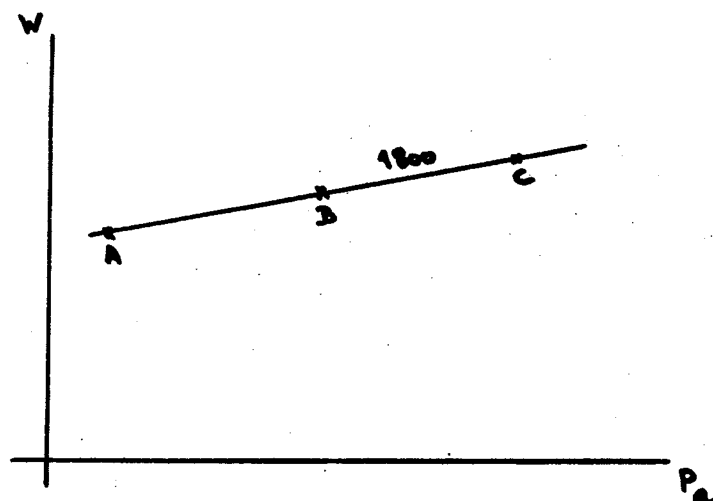
CHAPITRE IV

LES COURBES MOTEUR

UTILISATION

UTILISATION DES ABAQUES MOTEUR

1°) - Courbe au niveau de la mer.

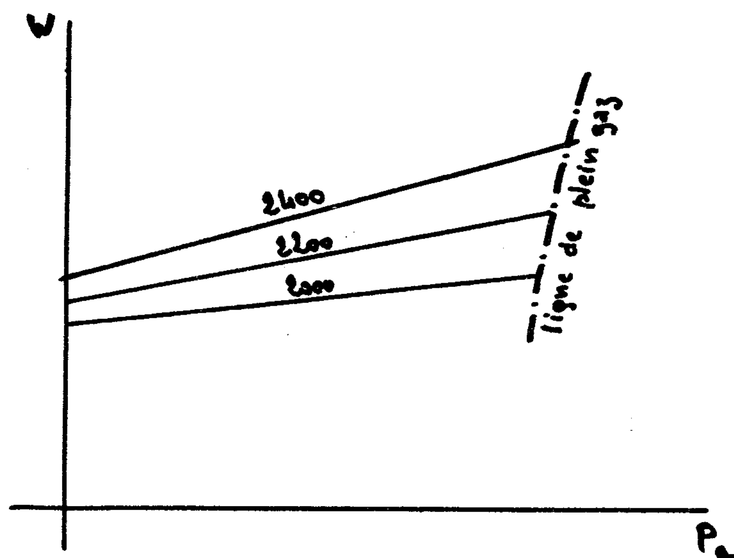


Etablie avec moteur au banc, freiné par un dynamomètre.

On prend un régime donné : 1800 t / m par exemple et on fait varier l'ouverture des gaz en même temps que le freinage pour maintenir le régime constant : on obtient une série de points A B C, C correspondant au plein gaz.

On opère de même à différents régimes.

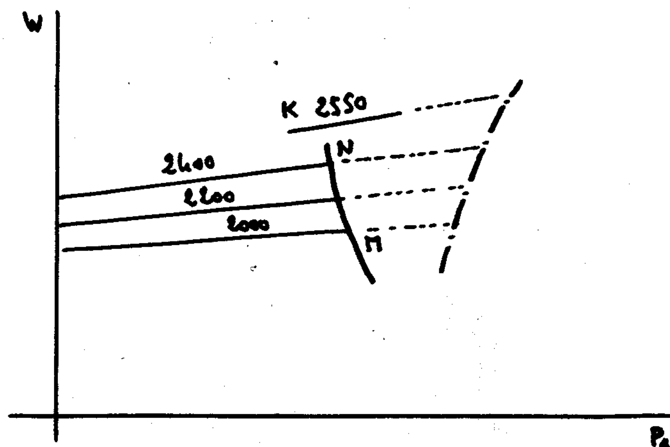
Si la courbe est établie avec toujours la meilleure richesse, on obtient une droite ; en pratique, on opère, sur "auto-riche" ou "auto-pauvre" et on obtient une ligne légèrement courbe.



La ligne obtenue en joignant les points de plein gaz indiquela Pa maximum que l'on peut obtenir au niveau de la mer pour un régime donné ainsi que W.

(origine des courbes : Pa = o, W = o).

Mais il n'est pas toujours possible d'obtenir cette pression sans altérer le fonctionnement du moteur (détonation - notification du constructeur etc...). De même, la partie inférieure des courbes peut être supprimée quand elle descend en dessous de la bande de fonctionnement normal.



La ligne M N marque la limite de la zone normale.

Enfin la ligne K indique le maximum du N et de Pa admissible pour le décollage ou une opération de très courte durée.

Correction due à la température de l'air dans le carburateur.

Les courbes sont établies dans les conditions standard au niveau de la mer (760 m / m et 15° C). Si ces conditions sont différentes, il faut faire des corrections.

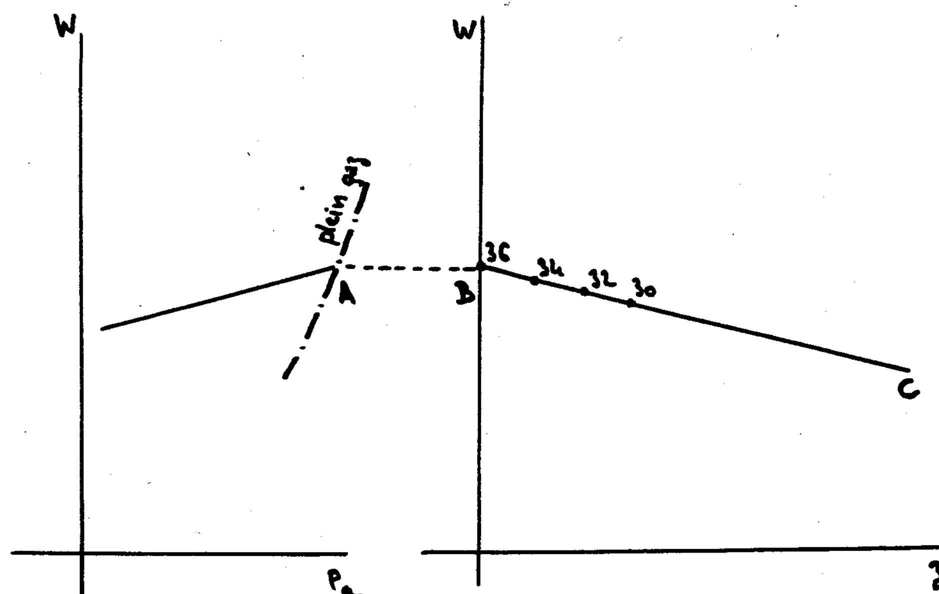
1°) - A la W obtenue par la courbe, ajouter 1 % pour chaque 10° C en dessous de la température Std. à l'entrée du carburateur.

2°) - Soustraire 1 % pour chaque 10° C au dessus de la température Std. On peut considérer que la variation de pression atmosphérique se retrouve dans la Pa et que, par suite, la correction est automatique.

2°) - Courbes en altitude.

Ces courbes sont établies d'après les conditions standard. Pour les établir, on opère au sol.

On prend un régime déterminé, soit 1800 t / m maintenu par le régulateur d'hélice, avec plein gaz. On est en A. D'où B, origine de la courbe en altitude. On marque ce point, ainsi que la Pa correspondante 36".

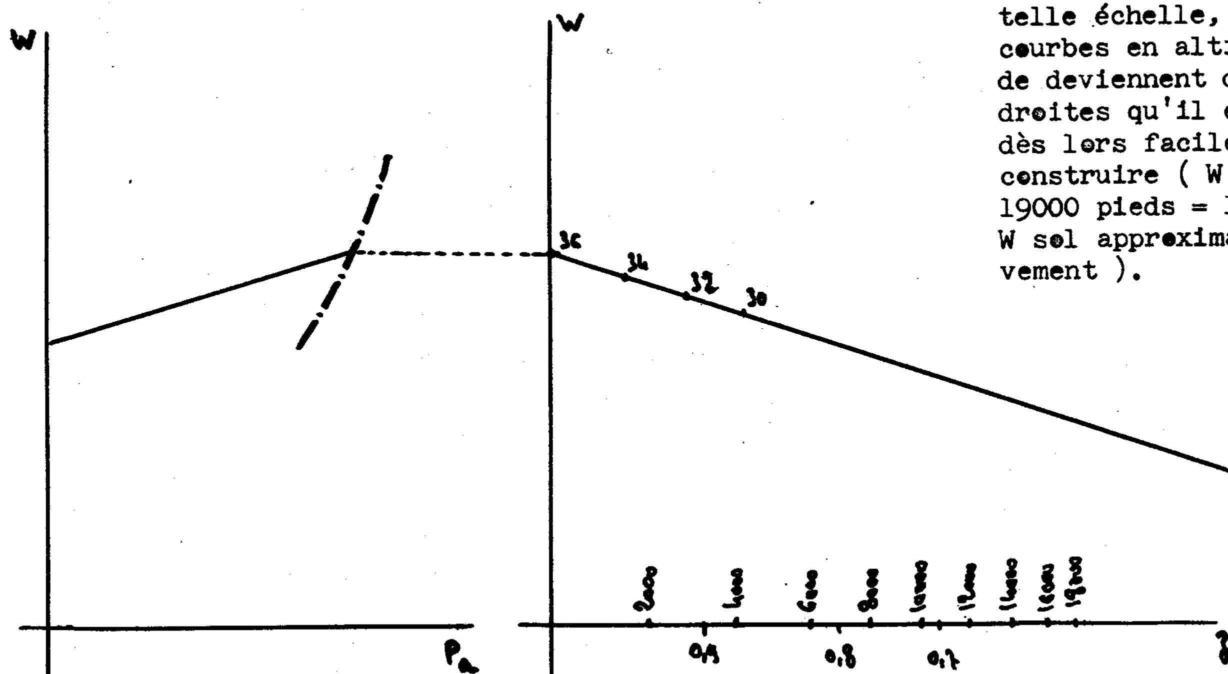


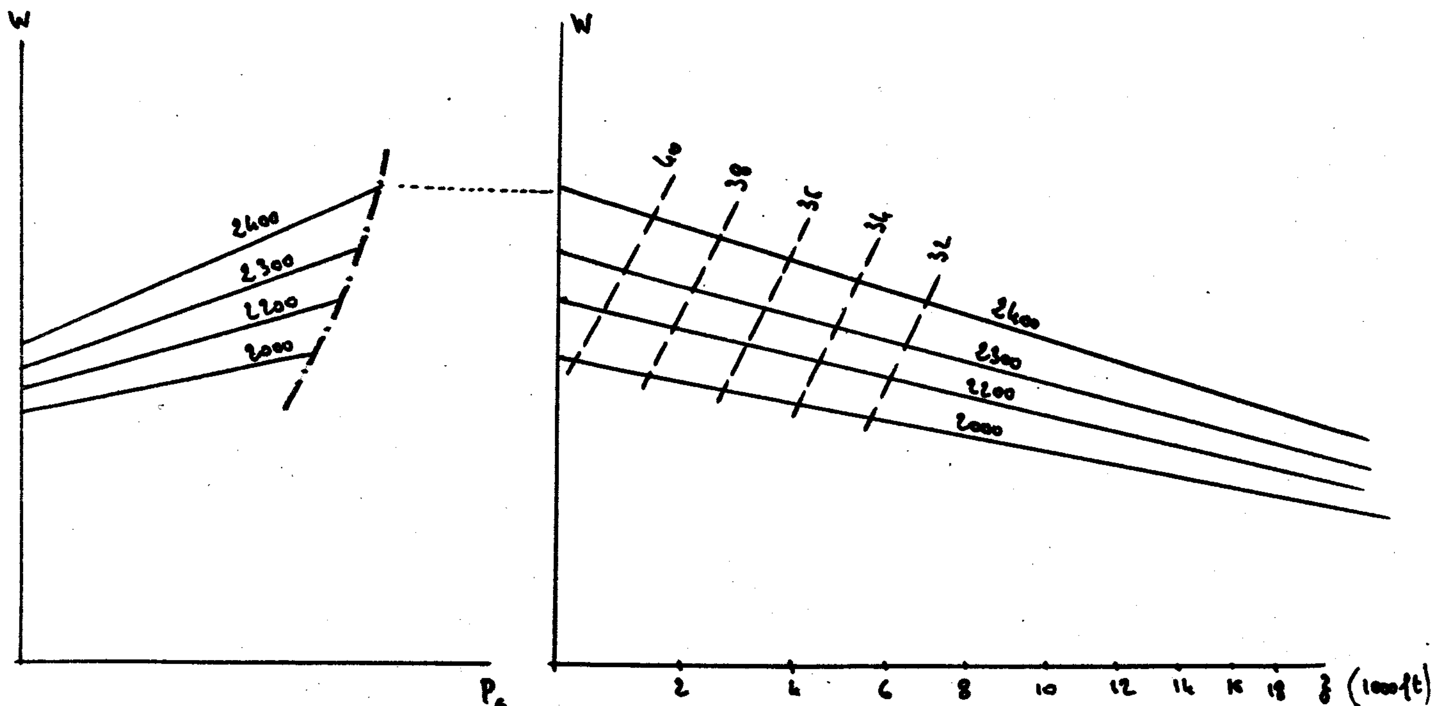
On fait alors une montée (fictive en général) qui permet de tracer la ligne B C.

Mais la variation de puissance en altitude dépend de la variation de densité de l'air ; l'axe Oz peut être donc gradué en densités, ou mieux en rapport ρ / ρ_0, ρ étant la densité à une altitude donnée et ρ_0 celle au niveau de la mer.

Comme la relation entre z et ρ / ρ_0 n'est pas linéaire, les lignes d'altitude seront inégalement espacées, devenant de plus en plus serrées sur la droite.

En utilisant une telle échelle, les courbes en altitude deviennent des droites qu'il est dès lors facile de construire (W a 19000 pieds = 1/2 W sol approximativement).



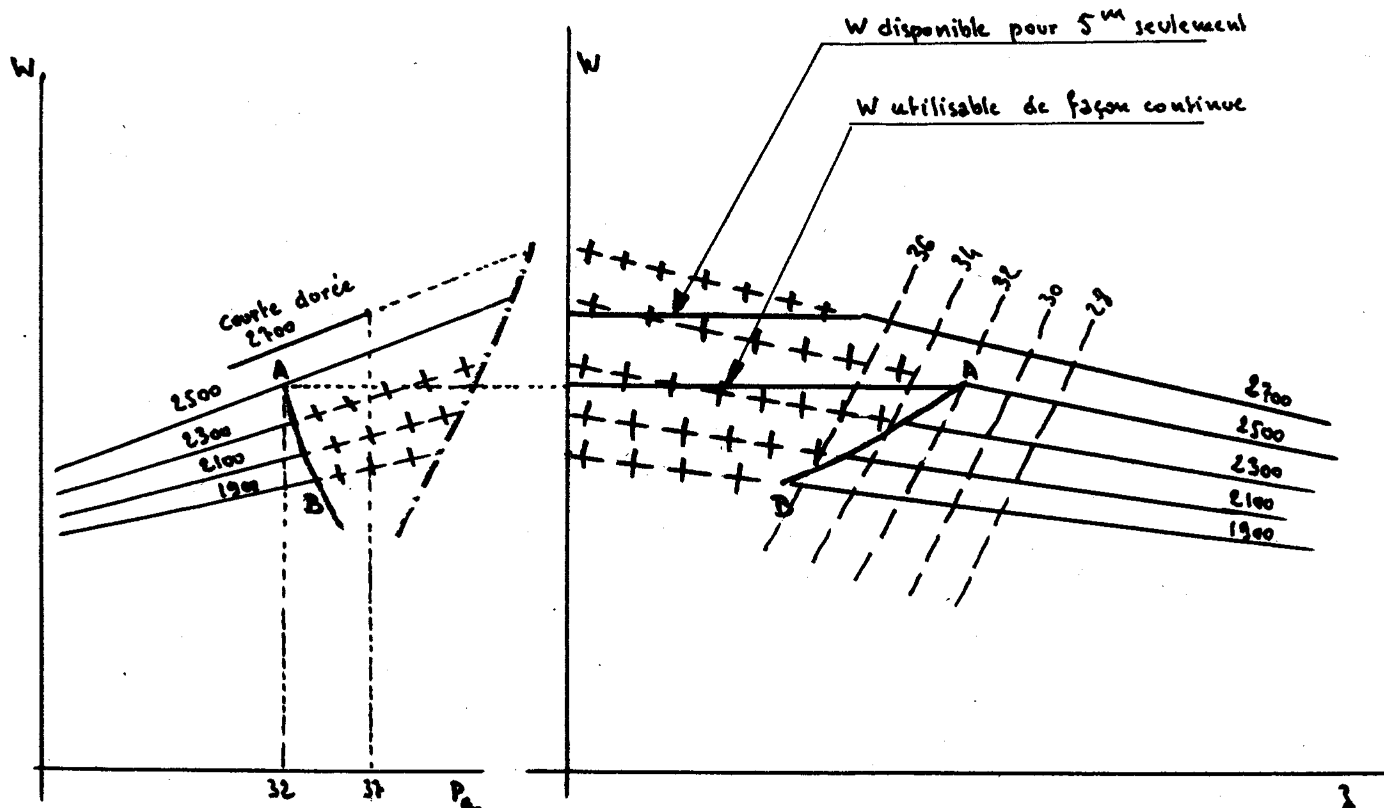


<u>Discussion.</u>

Par construction, les courbes en altitude convergent au point de puissance 0, qui correspondrait à une altitude de 55.400 pieds altitude à laquelle la puissance fournie par le moteur est absorbée par les frottements et le compresseur.

D'autre part, comme déjà vu, ces courbes en altitude sont des droites à condition que la richesse soit toujours la meilleure possible ; en réalité, ces lignes seront légèrement courbes.

Le fonctionnement du moteur est normalement limité par : W, N, Pa et pression dans le cylindre (B M E P). Les zones d'interdiction sont marquées par des ++++



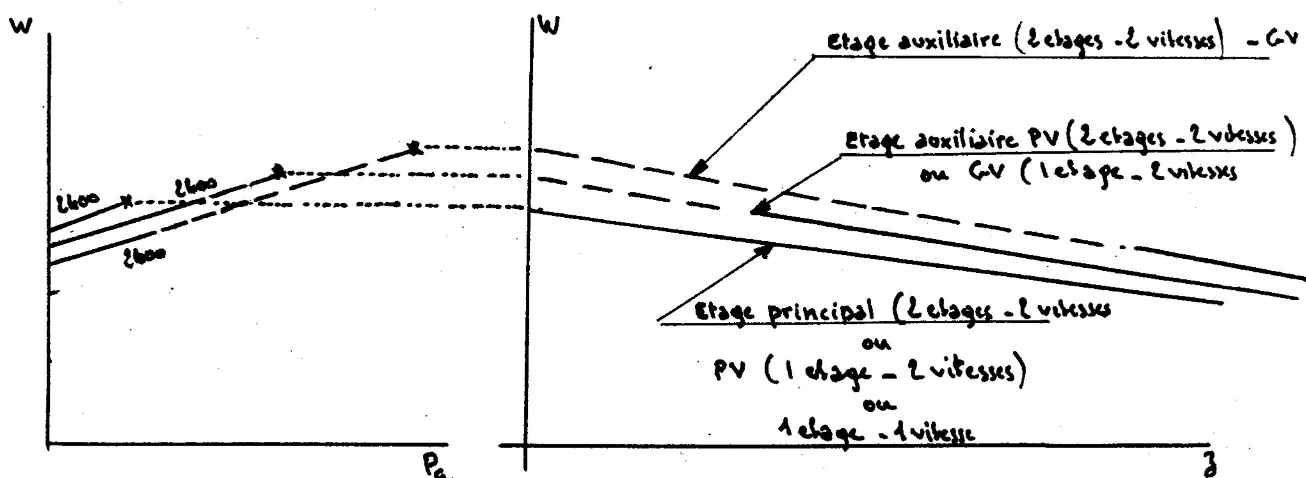
Ex :

W disponible pendant 5 m est limité à 750 cv et 2700 t/m avec Pa = 37 au niveau de la mer et 36 à 2800 pieds.

W disponible de façon continue est limité à 650 cv et 2500 t / m, avec Pa = 32 à z = 0 et Pa = 34 à 3500 environ.

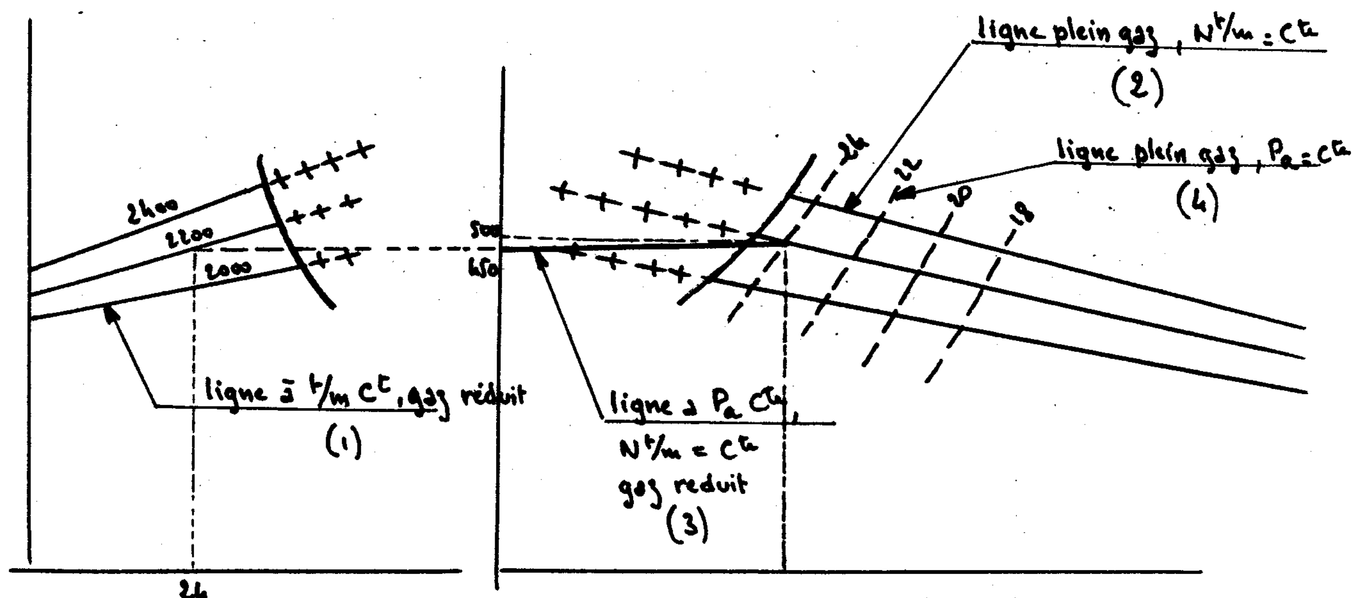
Le fonctionnement continu plein gaz est prohibé à gauche de la ligne A B, qui représente le maximum de pression permis dans le cylindre.

Courbes composées (compresseurs multiples ou à vitesses multiples).



(la convergence vers 55.400 fts. n'est valable que pour les compresseurs entrainés par engrenages).

Fonctionnement à gaz réduits.



Prenons par exemple 2200 t / m et 24 in. Ce point correspond à une puissance à z = 0 de W = 450 cv. En mettant le régulateur d'hélice à 2200 t / m, ouvrir le papillon en montant pour maintenir Pa = 24 : on observe une ↗ de W par suite de la diminution de la P. atmosphérique (gain à l'échappement, diminution des frottements, meilleur échappement) et par suite de la ↘ entrée carburateur (le poids d'une charge donnée augmente, à égalité de Pa).

W augmente jusqu'à ce que le papillon soit ouvert en grand, puis ensuite diminue.

On décrit ainsi la droite C D, droite si on utilise l'échelle des densités.

Il y a donc lieu de bien distinguer :

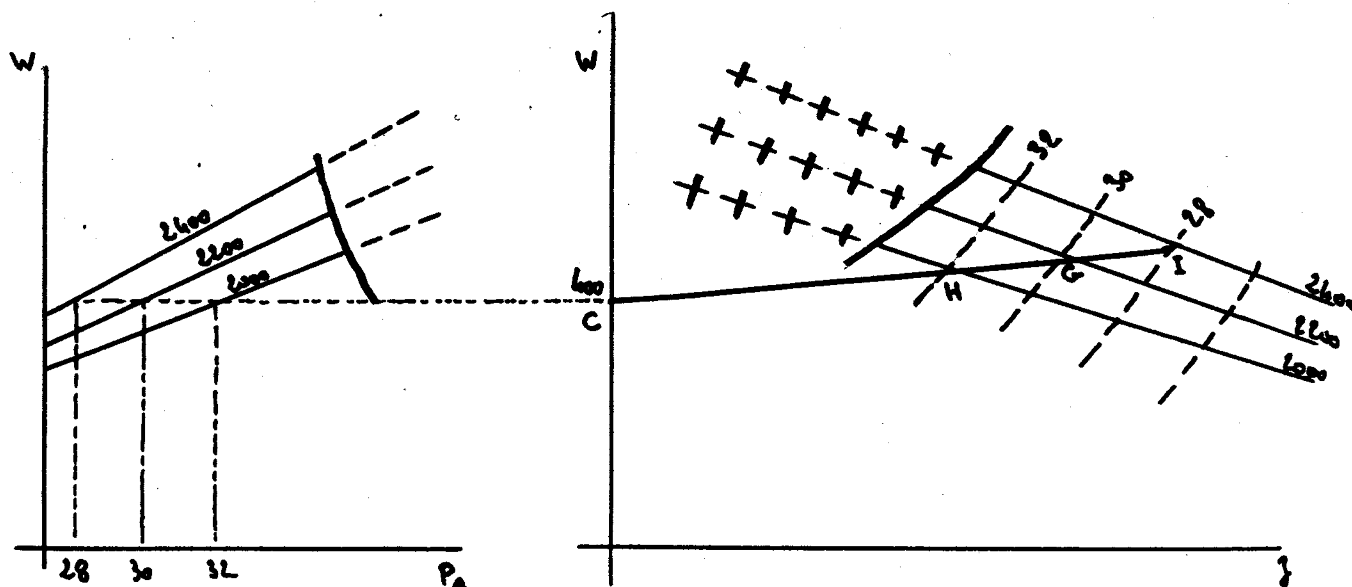
- (1) Lignes à régime Ct et gaz partiellement fermés.

- (2) Lignes à régime Ct plein gaz.

- (3) Lignes à régime Ct, Pa = Cte. gaz partiellement fermés.

- (4) Lignes à Pa = Cte, plein gaz.

<u>Fonctionnement gaz réduits : combinaison R P M. M A P. B H P.</u>



Nous voyons qu'une puissance de 400 cv peut être obtenue, au niveau de la mer, avec :

2000 t / m 32 in

2200 t / m 30 in

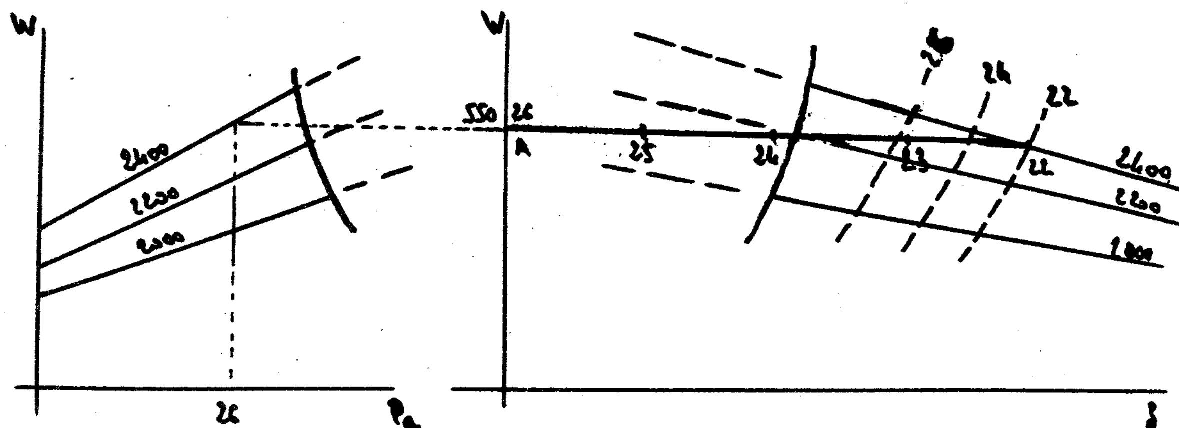
2400 t / m 28 in

donc possibilité d'un choix.

Si on prend 2200 t / m 30 in, on obtient le point G de plein gaz à 8500 pieds ; avec 2400 t / m, 28 in, on aurait le point I, et la ligne C I se superpose à la ligne C G.

Donc toutes les combinaisons de Pa et N donnant une W donnée à une altitude (niveau de la mer par exemple) donneront également la même W à toute autre altitude, pourvu que le papillon ne soit pas ouvert en grand.

Toutes les lignes Pa = Ct, N = Ct, gaz réduits telle que C I ont la même pente et sont sensiblement parallèles. Mais, comme les lignes plein gaz N = Ct ne sont généralement pas droites (variations de richesse et d'efficacité du compresseur), les lignes Pa = Ct, N = Ct, gaz réduit ne sont pas parallèles d'un bout à l'autre du diagramme.



Un autre procédé d'utilisation est W = Ct, N = Ct et Pa variable : ligne A B.

Pour graduer cette ligne A B en Pa, il suffit de remarquer qu'elle est de 26 au niveau de la mer et de 22 à l'altitude de plein gaz ; il suffit donc de diviser l'intervalle A B en 4 parties

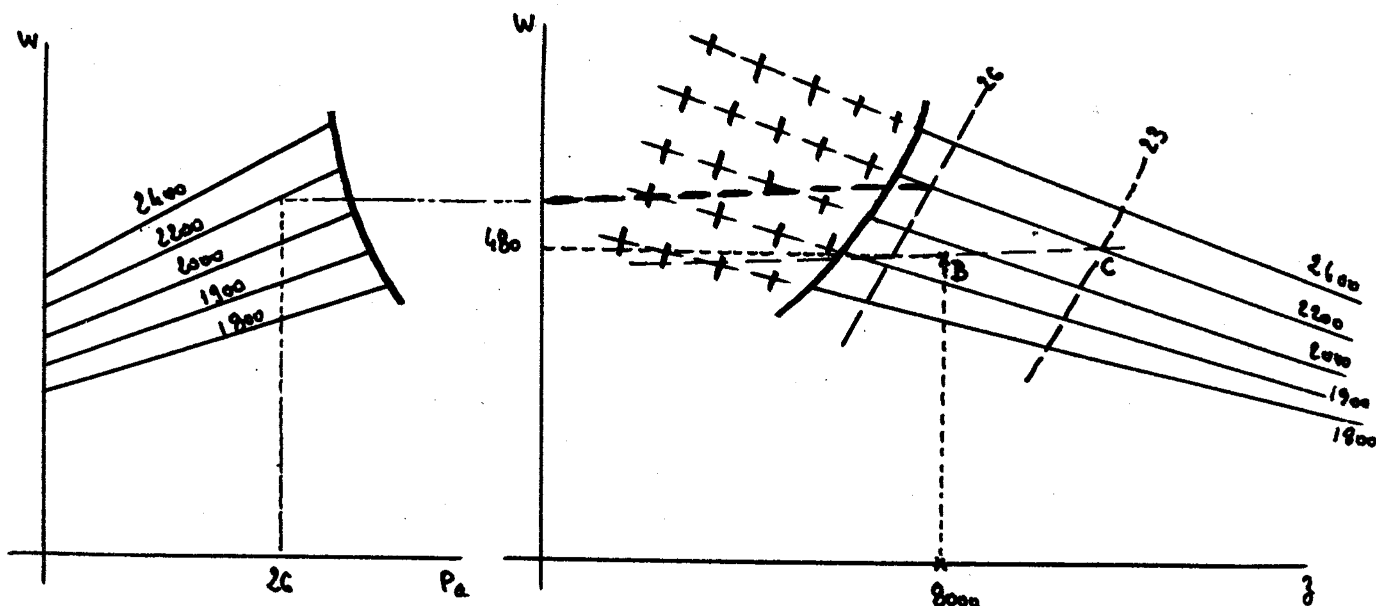
égales qui correspondront chacune à une altitude déterminée.

Ex : Trouver Pa donnant 550 cv à 2400 t / m et 2000 ft.

a) on cherche Pa au sol, soit 26

b) on trace la ligne 550 cv A B ; on la gradue et on prend son intersection avec la ligne 2000 ft ; on trouve environ 25,5.

Problèmes -



A) Données : W = 480 Trouver

N = 2200 Pa ?

Z = 8000 f

<u>1ère solution</u>.

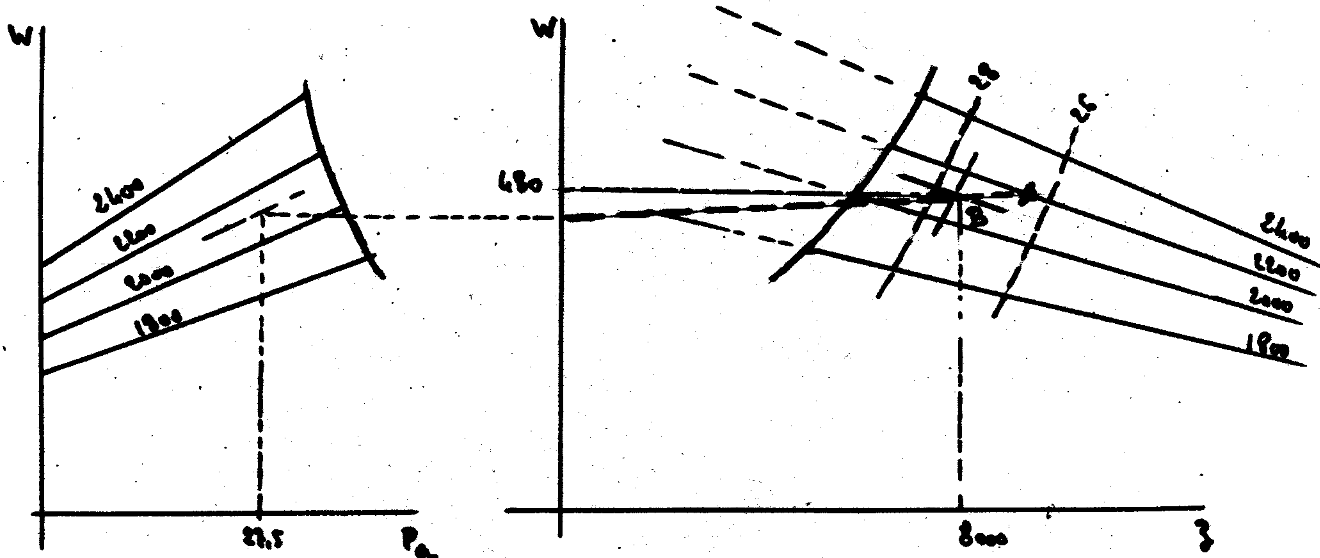
1°) - Tracer les lignes Z = 8000 et W = 480 ; prendre leur intersection B

2°) - Tracer une ligne N = Cte, Pa = Cte avec N = 2200 t / m et une Pa ayant une valeur estimée convenable, 26 par exemple.

3°) - Tracer par B la parallèle à la droite ainsi obtenue elle coupe la droite plein gaz 2200 t / m en C et on lit la valeur de Pa correspondant soit 23 in.Hg.

<u>Note</u> : Si B est en dessous et au gauche de la ligne plein gaz, le fonctionnement à admission réduite est indiqué.

<u>2ème solution</u>.



1°) - Chercher le point B

2°) - Déterminer le régime de plein gaz et la Pa correspondant, soit 2100 t / m et 27,5 in.

3°) - Chercher la W correspondante au niveau de la mer, soit 480 cv.

4°) - Prendre l'intersection avec la droite 2200 t / m, soit C, lire la pression correspondante : soit 26,5 in.

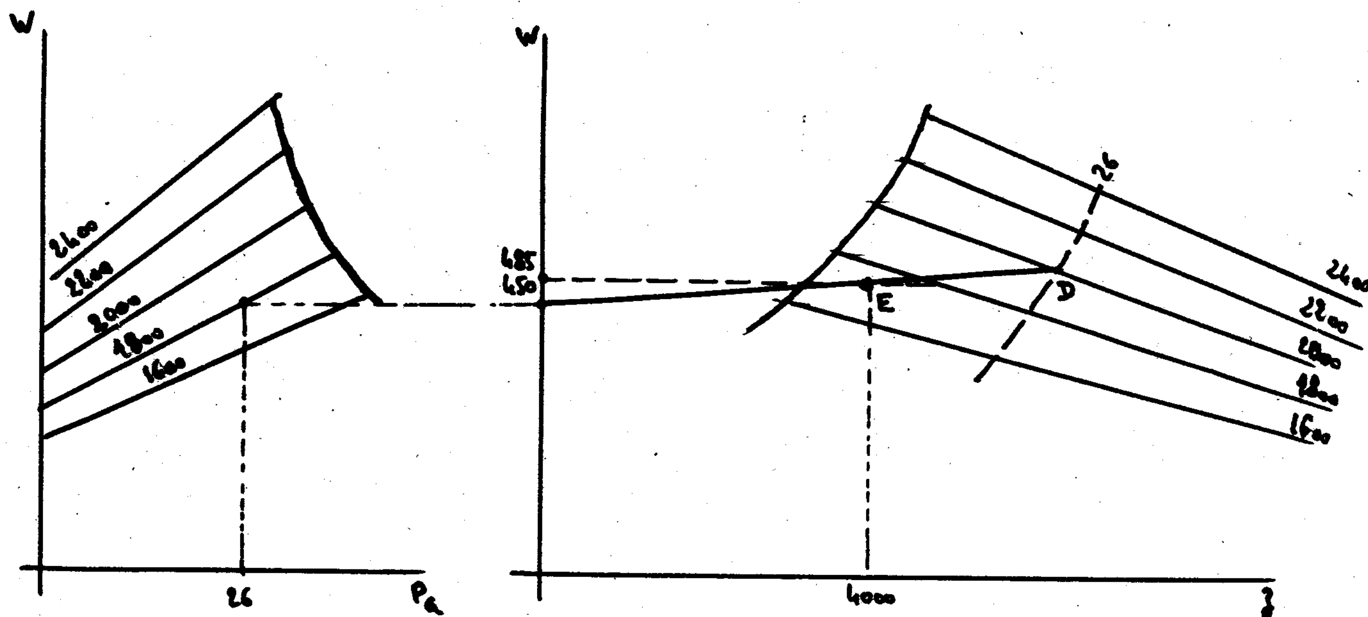
Cette 2ème méthode permet de trouver une valeur approchée de Pa pour appliquer à la lère.

B) Données -

Pa = 26 Trouver

N = 2000

Z = 4000 W = ?



1°) - On cherche W au niveau de la mer, à Pa = 26, N = 2000 t / m soit 450 cv.

2°) - On joint B (450 cv à 2000 t / m et 26 in) à D (2000 t / m, 26 in) de la droite plein gaz.

3°) - On prend l'intersection avec la droite 4000 ft et on lit W correspondant : 485 cv.

NOTE - Si E est en dessous et à gauche de la ligne de plein gaz, le fonctionnement à admission réduite est indiqué.

Corrections en fonction de la température de l'air.

(entrée au carburateur)

1°) - Correction sur puissance lue, gaz partiellement ouvert.

1 - 1 - A W obtenu par la courbe, ajouter 1 % pour chaque 10° C en dessous de la température standard.

1 - 2 - Retrancher 1 % pour chaque 10° C en plus de la θ standard.

2°) - Correction sur pression admission, avec ouverture partielle des gaz.

2 - 1 - A Pa obtenue par la courbe, ajouter 1/2 in. pour chaque 10° C au dessus de la θ standard.

2 - 2 - Soustraire 1/2 in. pour chaque 10° C en dessous de la θ standard.

3°) - Correction sur pression d'admission, avec plein gaz.

3 - 1 - Augmenter de 20 t / m par 10° C au dessus de la θ standard.

4°) - Puissance plein gaz.

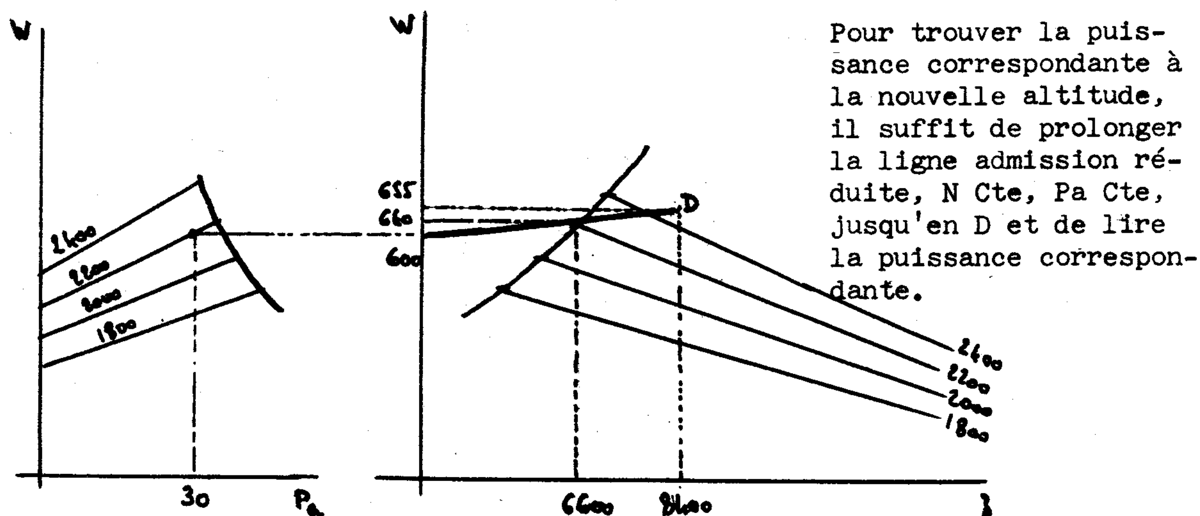
4 - 1 - Augmenter de 50 t / m par tranche de 1000 ft au dessus de l'altitude de rétablissement pour conserver la puissance affichée.

Effet de la compression dynamique.

Son effet est d'augmenter l'altitude critique pour toute combinaison de N et de Pa. Il dépend de l'installation et de la vitesse.

Les courbes sont établies sans tenir compte de cet effet, qu'on ne peut estimer que par expérience.

Supposons que $Z_{crit.}$ soit passée de 6600 ft. à 8400 ft. pour 2200 t / m et 30 in.



Pour trouver la puissance correspondante à la nouvelle altitude, il suffit de prolonger la ligne admission réduite, N Cte, Pa Cte, jusqu'en D et de lire la puissance correspondante.

<u>Remarque importante</u> .

Nous avons vu que l'échelle des altitudes était établie en fonction du rapport $\rho z / \rho_0$ des densités à 0 et à Z et que les courbes étaient établies en supposant satisfaites les conditions standard de pression, densité et températures. Les altitudes ainsi portées sont les " altitudes densité ".

Si on s'écarte des conditions standard, l'emploi des courbes n'est pas modifié pour celà.

En effet si l'altimètre est réglé sur 760 m / m Hg. = 29,92 in.Hg, pression standard à Z = 0, il rapportera toutes les mesures d'altitude à cette pression : il donnera des " altitudes pression ". En montée, on pourra rencontrer une pression de 19 in. à 12000 pieds si l'on se trouve dans les conditions standard, ou à 11.000 pieds par exemple, si ces conditions ne sont pas réunies, mais l'altimètre indiquera toujours 12000 pieds puisque cette indication n'est fonction que de la pression, rapportée à 760 m / m.

On rentrera donc dans l'abaque avec cette altitude lue sur l'altimètre, liée à une pression, donc à une altitude standard bien déterminées.

D'autre part, les différences de température affectent la densité de l'air donc le rapport ρ_z/ρ_0 et par suite le poids du mélange, pour une pression en altitude donnée ; c'est pourquoi on corrige les résultats obtenus par les abaques proportionnellement à l'écart entre la température standard à l'altitude considérée et la température d'entrée d'air au carburateur, comme nous l'avons vu.

B M E P

Nous avons déjà vu au chapitre " Puissance, Rendement, Couple " la définition de la Puissance Moyenne Efficace, et avons établi la formule liant la puissance utile, le nombre de tours, la pression moyenne efficace et la constante K du moteur.

Cette constante K dépend du moteur et peut être facilement calculée en connaissant l'alésage, la course et le nombre de cylindres.

Pour le moteur Pratt et Whitney R 1830 du D C 3, cette constante = 4 3 2.

De tous les facteurs de limitation du moteur, le B M E P sera le facteur essentiel ; pour assurer un bon fonctionnement continu en croisière, il ne faudra pas dépasser un B M E P de 145 lbs / sq.in

Pour obtenir une puissance donnée B H P, on pourra :

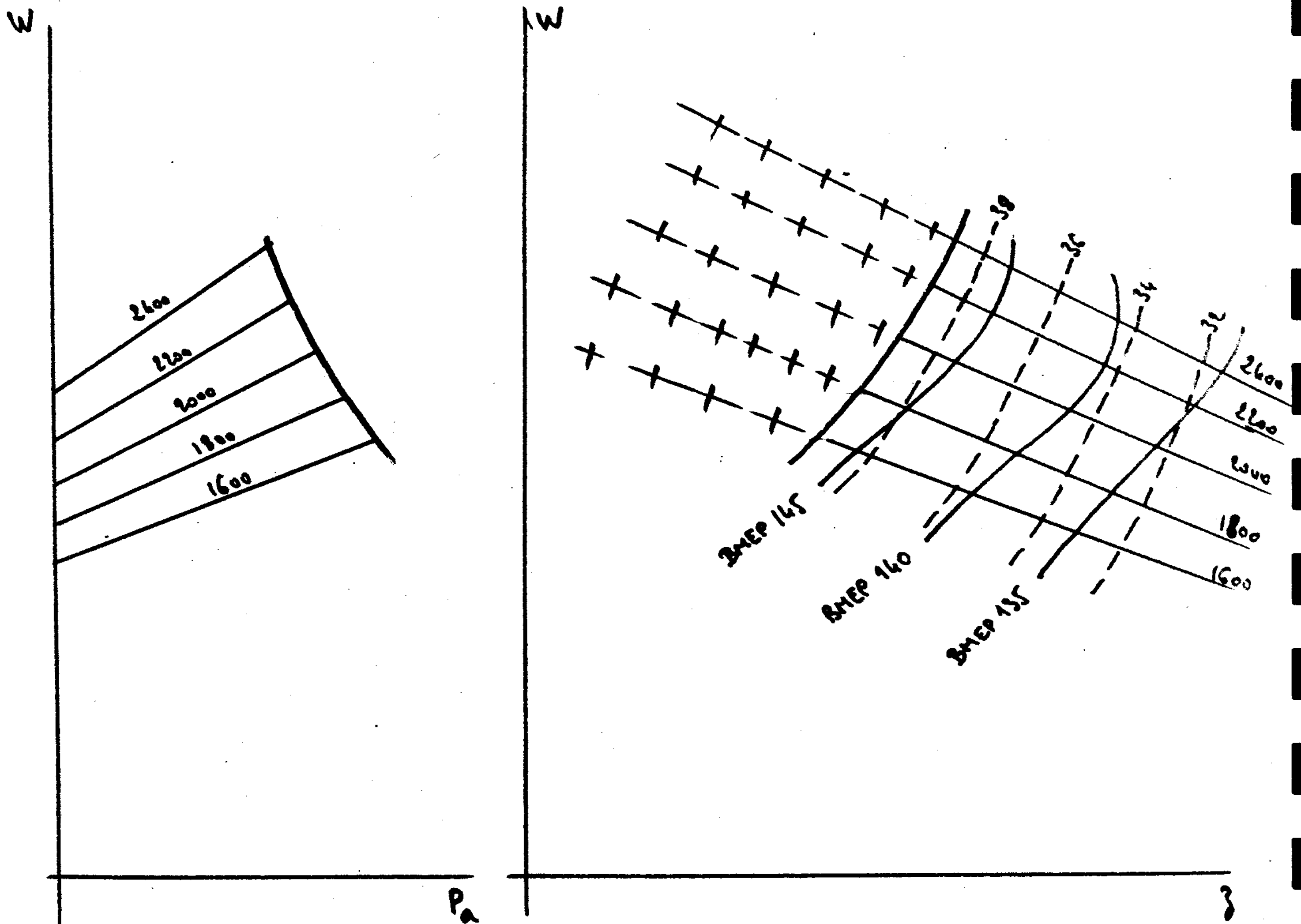
- avoir un faible B M E P et un nombre de tours élevé : on augmente alors l'usure, la consommation d'essence, les efforts centrifuge et d'inertie.

- avoir un fort B M E P et un faible nombre de tours : la trop grande pression conduit alors à la détonation et peut rendre le moteur inutilisable en quelques minutes.

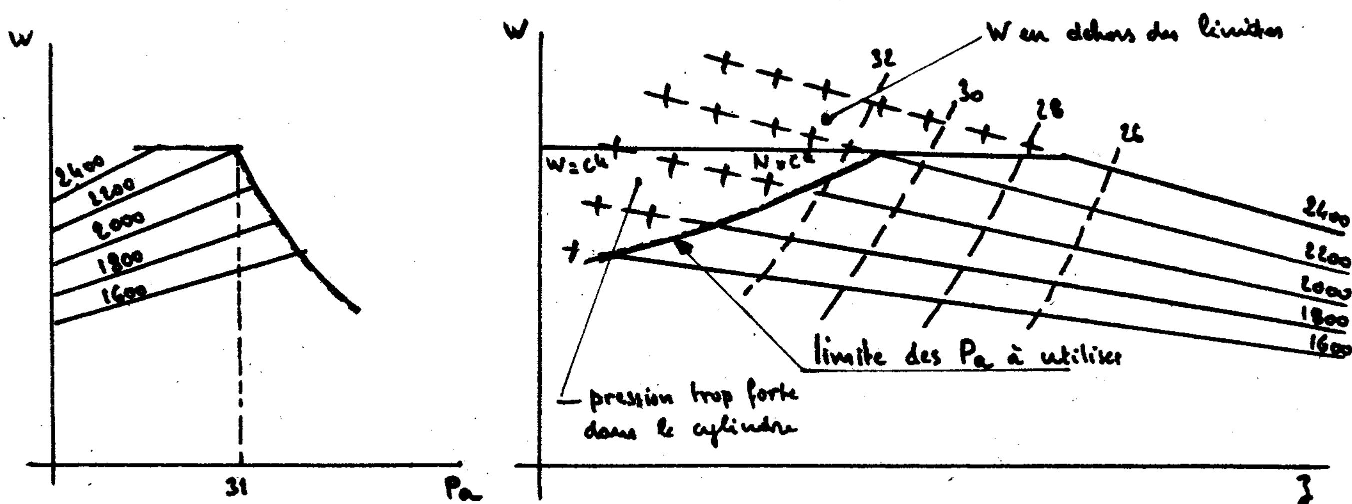
La performance optimum sera obtenue avec le plus fort B M E P compatible avec un fonctionnement continu en croisière. On a donc avantage à tracer sur les abaques de croisière (Auto-pauvre) les courbes des divers B M E P en les calculant point par point ; on obtient ainsi les courbes ci-après.

ABAQUE AUTO PAUVRE

BMEP



Limitations - On peut être limité par R P M, B H P, B M E P. Toutes ces limites doivent être reportées sur l'abaque.



Dans certains cas, il y a des limitations en altitude.

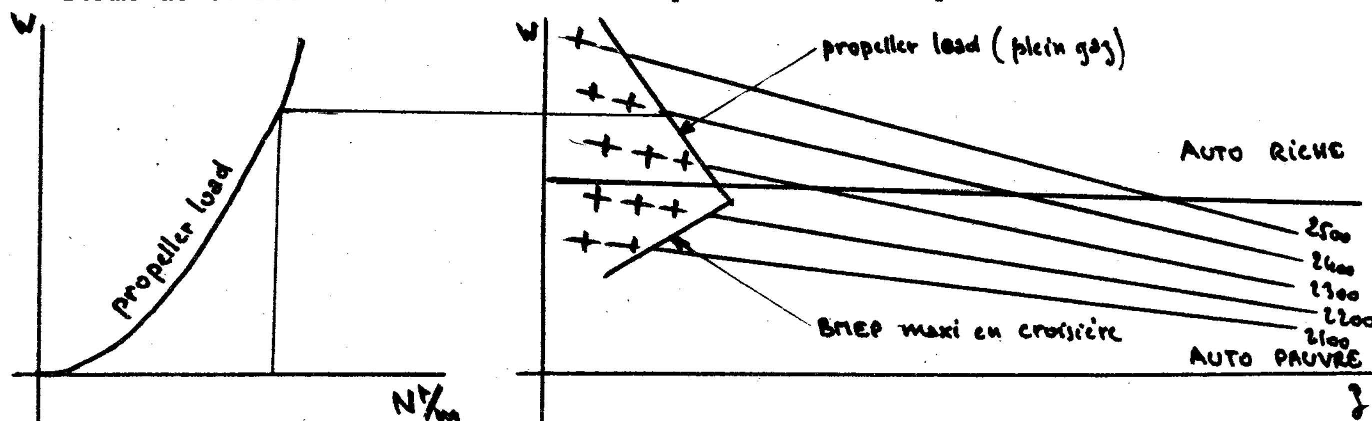
Ex : Fonctionnement en GV d'un compresseur à 2 rapports de compression.

Enfin, sur les abaques " Wright " on relève une limite : celle du " Propeller load, full throttle ". On sait en effet que l'utilisation d'un moteur est définie par 2 courbes d'utilisation :

a) la cubique théorique, courbe obtenue avec un moulinet calé à un pas tel que le moteur plein gaz donne ses R P M et B H P nominaux pour la pression nominale d'admission.

b) la courbe de surcouple, obtenue avec un moulinet à pas plus élevé et tel que le moteur plein gaz donne un couple équivalent à celui obtenu en régime de décollage.

La courbe de surcouple détermine donc une limite supérieure d'utilisation : c'est la " Propeller load " qu'on trouve sous forme de courbe au sol ou de limite reportée sur l'abaque en altitude.



C O M P R E S S E U R A 2 V I T E S S E S

1 - Intérêt du compresseur à 2 vitesses.

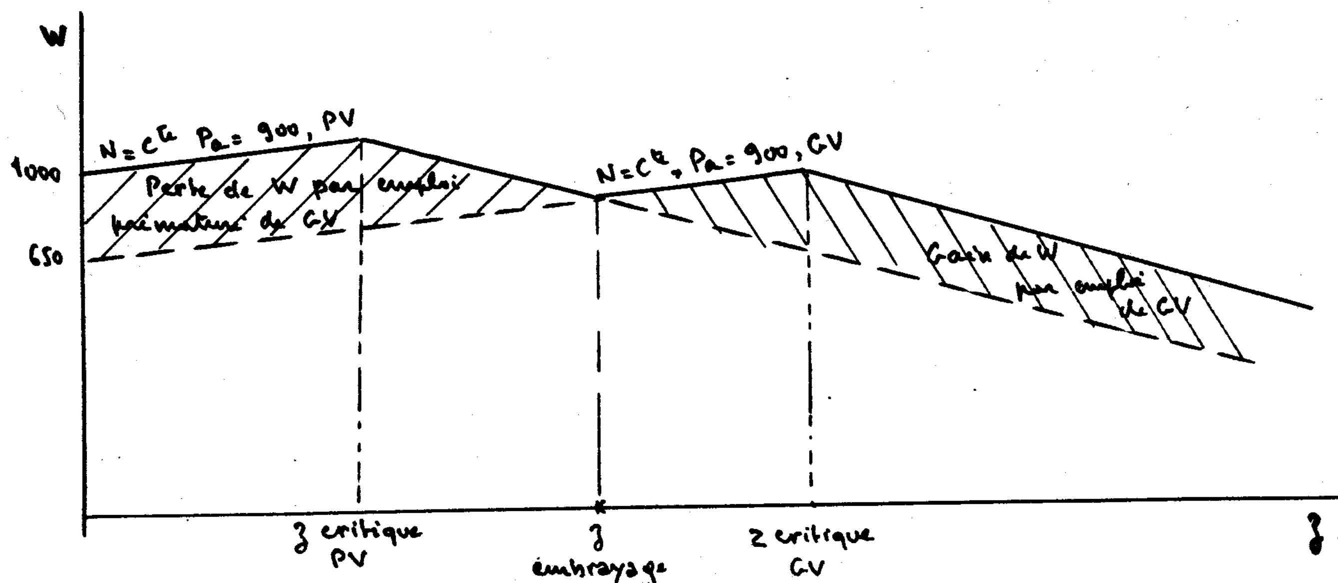
Ce compresseur permet d'obtenir à haute altitude une puissance plus élevée qu'on ne l'obtiendrait avec un compresseur à vitesse unique. Il augmente le remplissage du cylindre mais, du fait du rapport de compression plus élevé, la température de mélange est plus élevée d'où risque de détonation ; on aura donc intérêt, de ce fait, à utiliser la P V à basse altitude, et cet intérêt sera encore accru car la G V absorbe davantage de puissance que la P V.

Le tableau ci-dessous fait ressortir ces différences en montrant les résultats obtenus par l'emploi de la P V, puis de la G V pour une même altitude, 1000 m par exemple.

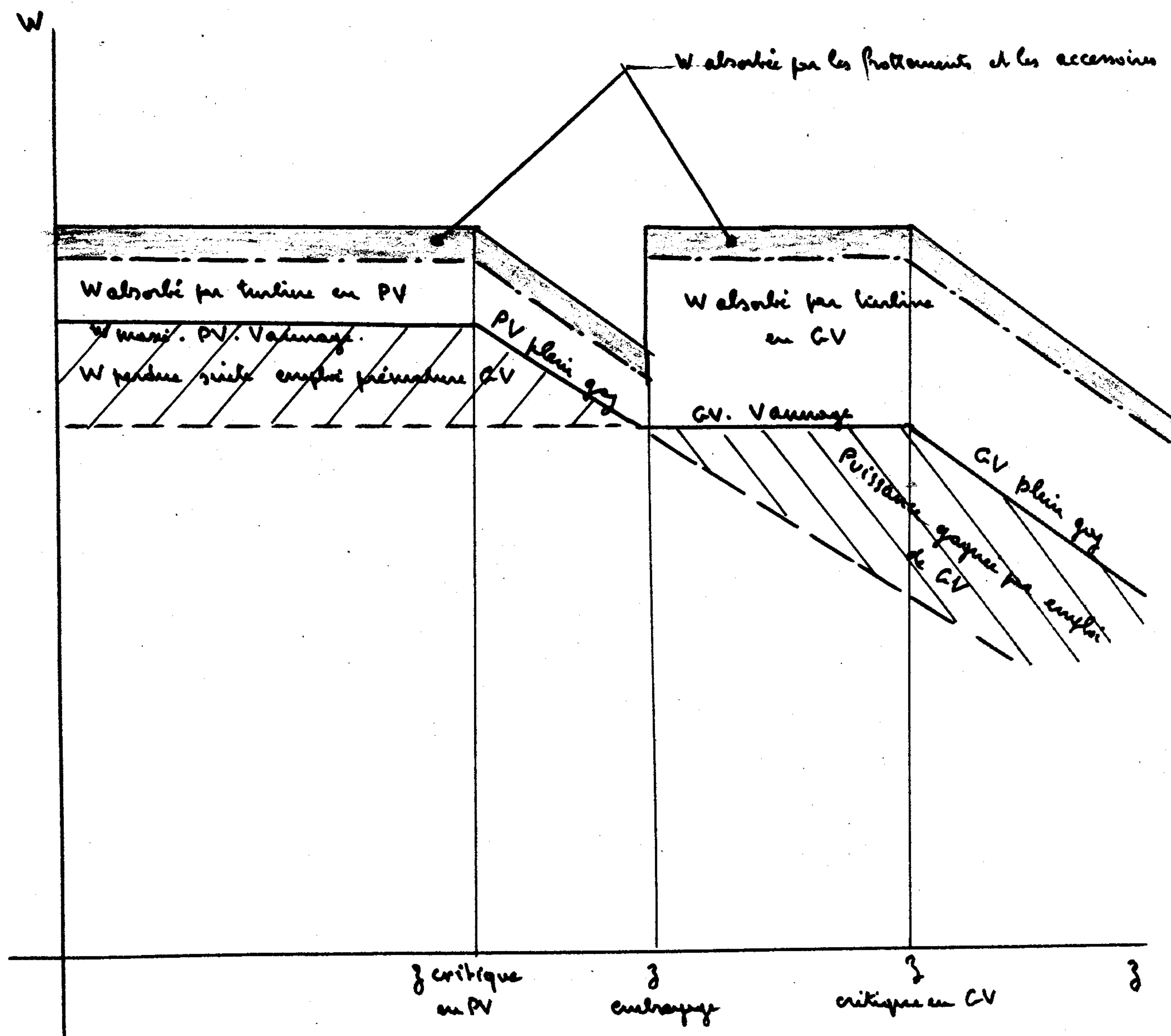
	N T / m turbine	W absorbé	Pa	Température	W moteur
P V	10000 t / m	100 c v	900 m / m	t_1	1000 c v
G V	20000 t / m	400 c v	900 m / m	t_2	650 c v

avec $t_2 > t_1$ et grand vannage lors de l'emploi de la G V

le graphique ci-dessous résume ces résultats.



Le schéma ci-après montre les performances caractéristiques d'un compresseur 2 vitesses, le moteur fonctionnant à la puissance maximum et au N t / m maximum.



UTILISATION DU COMPRESSEUR

A 2 VITESSES

Dans tous les cas du fonctionnement au sol ou à basse altitude, il faut fonctionner uniquement en petite vitesse.

DECOLLAGE -

L'utilisation de la grande vitesse au voisinage du sol , réduirait la puissance disponible pour l'hélice, car la turbine absorberait une puissance plus élevée et l'emploi d'un grand rapport de compression augmenterait la température du mélange, d'où détonation.

Il n'y a que dans le cas où, par temps très froid ou sur un aérodrome très élevé, on désire décoller avec une puissance maximum, qu'on puisse employer la G V, mais ceci ne doit être qu'exceptionnel.

MONTEE -

L'altitude d'embrayage de la G V, sera déterminée par les abaques moteur, comme il est indiqué ci-après. Sauf en cas d'absolue nécessité, on emploiera la P V, aussi longtemps qu'on aura une puissance suffisante pour monter.

CROISIERE -

Si on désire une économie maximum d'essence, il est généralement recommandé de fonctionner en P V. L'utilisation de la G V, sera déterminée par les abaques. D'autre part, on pourrait se trouver en P V, grand nombre de tours, plein gaz, ou pour la même puissance, en G V, faible nombre de tours, gaz réduit. En général, il vaudra alors mieux utiliser la P V.

DESCENTE -

Pour descendre d'une altitude quelconque, on emploie la P V, - sauf si on emploie, à une altitude donnée, une puissance telle que l'emploi de la G V, soit encore nécessaire, auquel cas on passera en P V, à l'altitude pour laquelle on aurait embrayé la G V, pendant la montée.

PRISE DE TERRAIN -

Toujours en P V de telle sorte qu'en cas d'incident, le pilote puisse disposer de la puissance maximum disponible (une exception peut être faite ici aussi dans le cas de terrains très élevés.)

LIMITES DE LA TEMPERATURE AIR-CARBURANT -

L'augmentation de température étant très grande en G V, les limites de température au carburateur seront inférieures.

En règle générale, décollage et vol se feront avec 16° minimum au carburateur. Les seules exceptions à cette règle dépendront des conditions de givrage, mais il faudra alors surveiller que l'application du réchauffage n'augmente pas trop les températures ; il serait bon de ne réchauffer que sur P V.

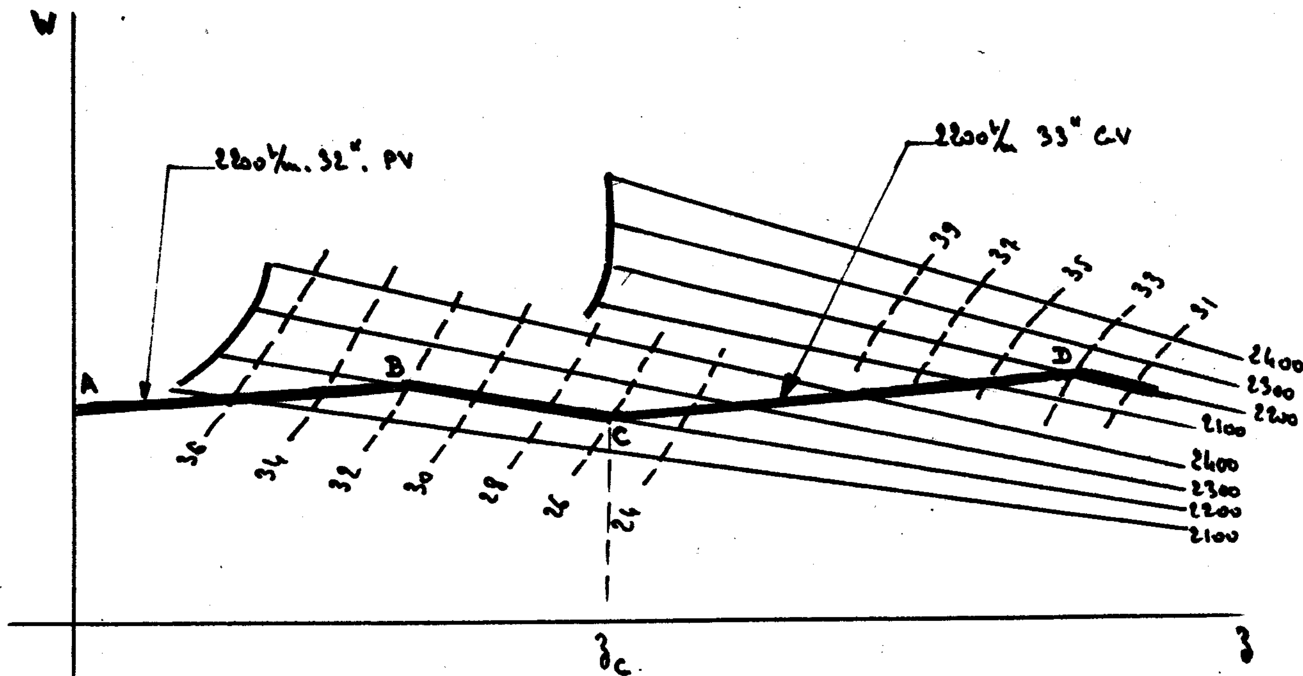
DETERMINATION DE L'ALTITUDE D'EMBRAYAGE -

Cette altitude est déterminée par :

- les abaques ;

- les plans de vol ;

L'utilisation d'un avion dépendant de beaucoup de facteurs : Nt / m, W, couple, Pa, V etc..., il n'y a pas de valeur fixe pour l'altitude d'embrayage de la G V ou, plutôt, pour la pression d'admission au moment de l'embrayage.



Si on opère d'après les abaques :

1° le pilote adopte un régime (Nt / m, Pa, W) donné par exemple : 2200 t / m, 32 in.

2° construire la ligne A B C E de 2000 t / m, P V, 32 in

3° en gardant 2200 t / m, choisir la P A pour la G V en tenant compte de la limitation des Pa. De préférence garder la même allure de fonctionnement qu'en P V.

- dans le cas ci-dessus : 33 in. - 2200 t / m

4° du point D obtenu, tracer D C, droite à Nt / m $= C^t$
Pa = Cte

5° l'intersection C donne l'altitude d'embrayage de la G V (atmosphère standard et sans bourrage d'air).

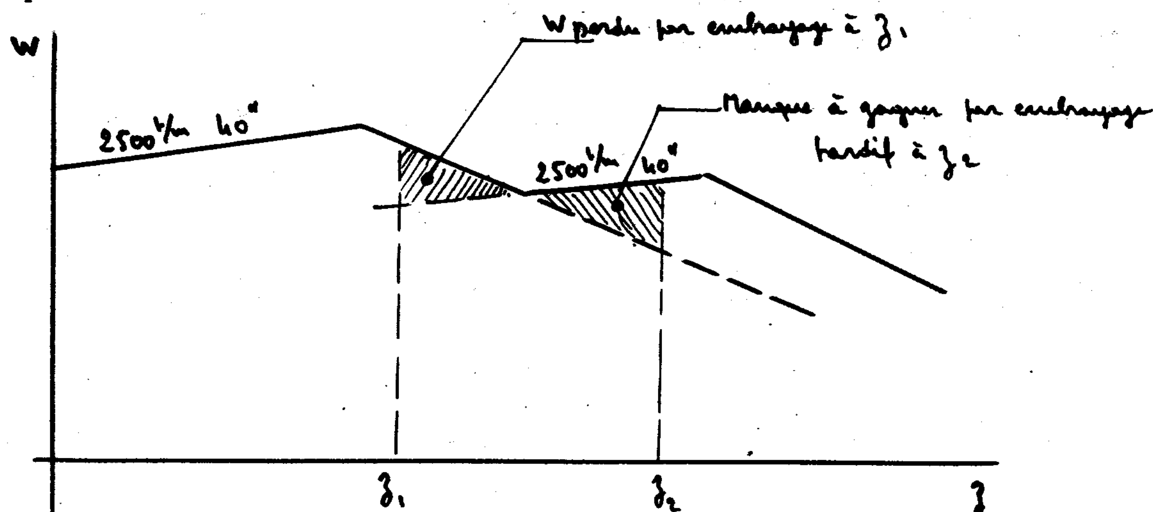
EFFET DU BOURRAGE D'AIR -

Par suite de la vitesse, la pression d'admission à une altitude donnée sera supérieure à celle obtenue sans vitesse. Donc, à une altitude z, la pression Pa.z sera supérieure à sa valeur normale et cette différence dépendra de la vitesse.

Par suite, pour l'embrayage de G V, on se fiera uniquement à la lecture du manomètre d'admission et on embrayera quand la pression atteindra la valeur donnée par l'abaque.

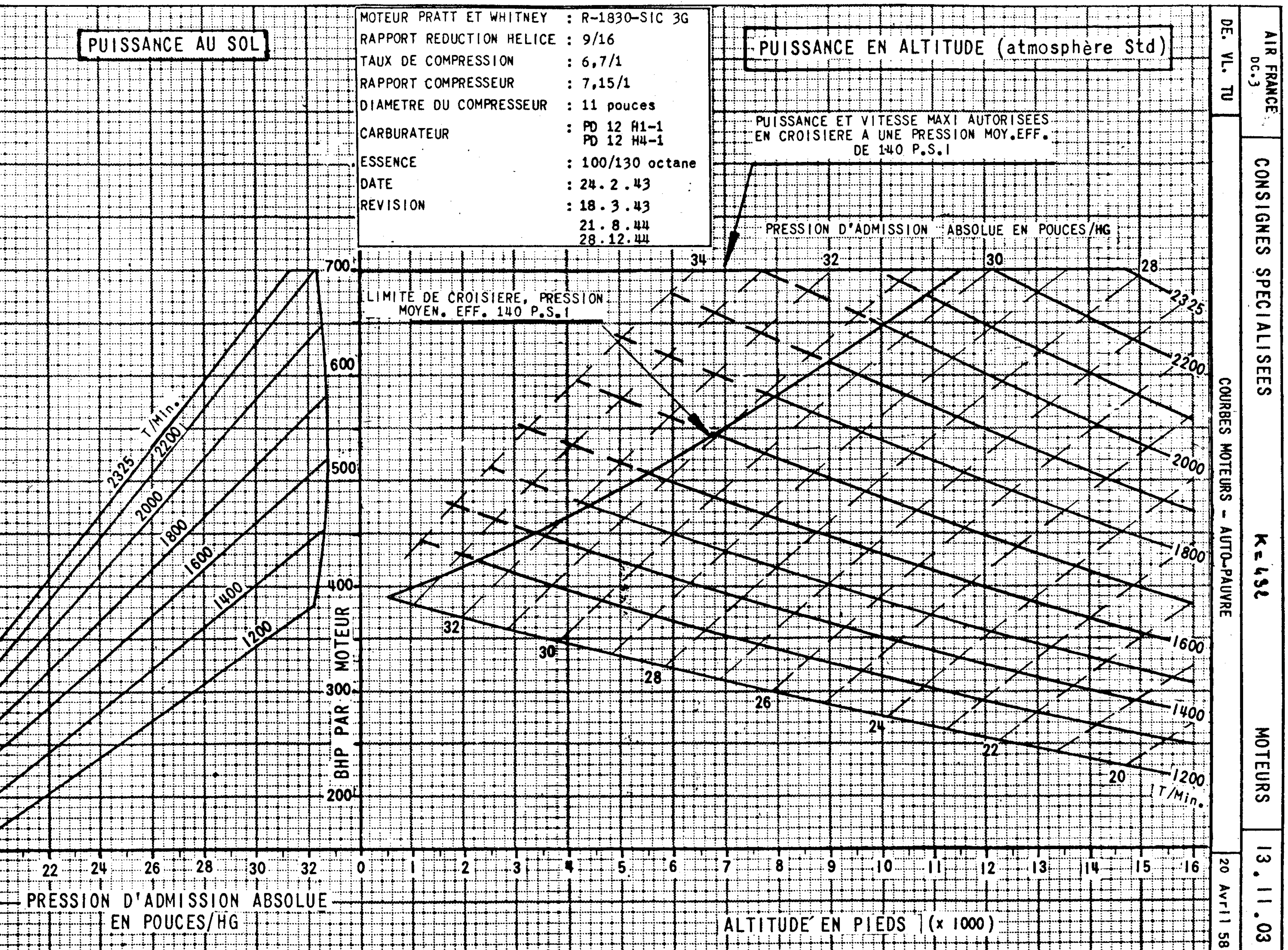
RESULTAT D'UN EMBRAYAGE A MAUVAISE ALTITUDE -

Le graphique suivant indique les inconvénients d'un embrayage prématuré ou tardif.



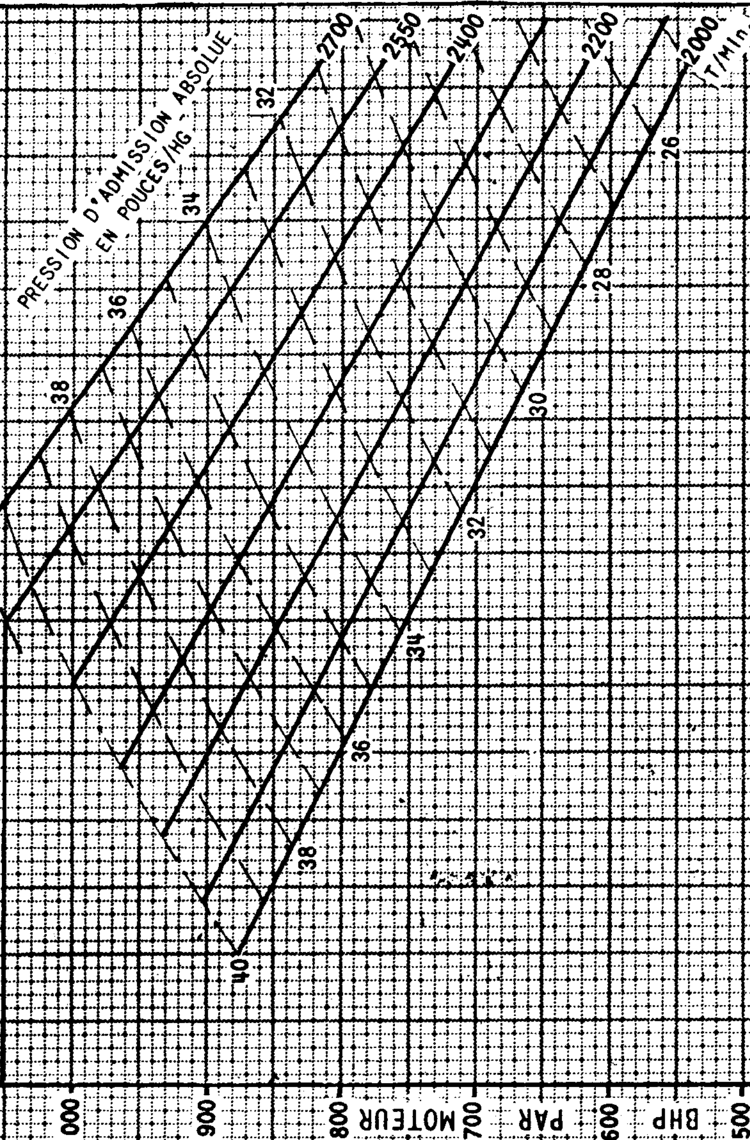
AIR FRANCE DC.3 | CONSIGNES SPECIALISEES | K=432 | MOTEURS | 13.11.03

DE. VL. TU | COURBES MOTEURS - AUTO-PAUVRE | 20 Avril 58



13. 11. 04	CONSIGNES SPECIALISEES	MOTEURS	AIR FRANCE DC.3
	COURBES MOTEURS - AUTO-RICHE		DE. VL. TU

MOTEUR PRATT ET WHITNEY : R-1830-SIC 3G
RAPPORT REDUCTION HELICE : 9/16
TAUX DE COMPRESSION : 6,7/1
RAPPORT COMPRESSEUR : 7,15/1
DIAMETRE DU COMPRESSEUR : 11 pouces
CARBURATEUR : PD 12 H1-1, PD 12 H4-1
ESSENCE : 100/130 octane
DATE : 26. 2. 43
REVISION : 17. 3. 43, 28.12.44, 6. 4.45



PUISSANCE EN ALTITUDE (atmosphère Std)

PUISSANCE AUTORISEE POUR 2 MINUTES SEULEMENT

REGIME MAXIMUM CONTINU

BHP PAR MOTEUR

1200 1100 1000 900 800 700 600 500

PUISSANCE AU SOL

2700 T/Min. 2550 2400 2200 2000

PRESSION D'ADMISSION ABSOLUE EN POUCES/HG

48 46 44 42 40 38 36 34 32 30

CHAPITRE V

REGLAGE DES MOTEURS

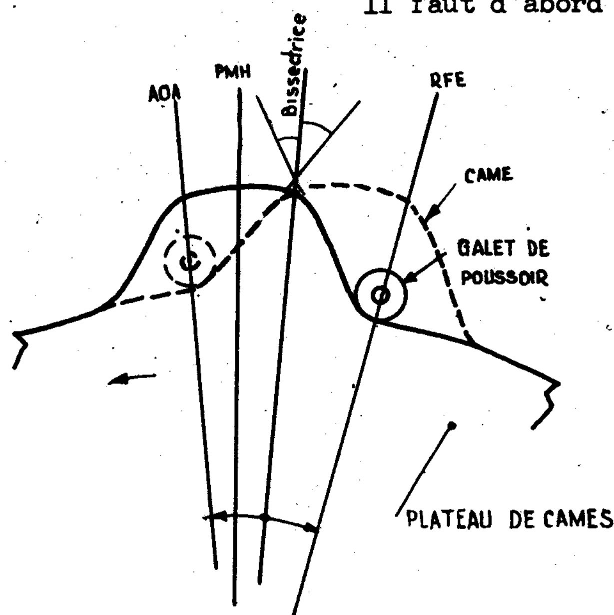
REGLAGE DES MOTEURS

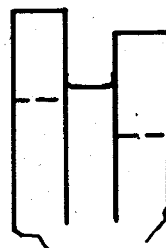
Aux essais, le constructeur s'efforce d'obtenir le maximum de travail indiqué en agissant en particulier sur les moments d'ouverture et de fermeture des soupapes ainsi que sur l'avance à l'allumage ; il établit ainsi les cotes optima pour le régime adopté.

Le réglage a pour but la mise en place des organes de distribution de telle façon que les cotes relevées correspondent aux données du constructeur ; s'il n'en est pas ainsi, on devra faire en sorte que le réglage soit fait au plus près des cotes principales (A O E et R F A), qui doivent avoir priorité sur les cotes secondaires (R F E et A O A).

Arbres ou plateaux à cames.

Il faut d'abord déterminer le sens de rotation d'après la forme des cames et d'après le fait que l'admission suit aussitôt l'échappement.





Pour placer cet organe sur le moteur il faut définir d'une façon précise sa position ; pour cela on doit choisir un repère facile à identifier et déterminer la cote de ce point sur le disque de réglage. Le repère choisi est en général la bissectrice du V formé par les rampes intérieures des cames; la cote de la bissectrice est égale, à partir du P M H à 1/2 (A O A + R F E).

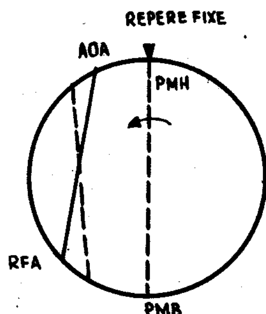
Nous placerons le V des cames généralement la pointe en bas de façon que les faces extérieures soient également inclinées sur la verticale (il suffit de placer l'arbre ou le plateau de façon à mettre en bascule les 2 culbuteurs d'un cylindre). Les entrainements étant desengrénés, on place le disque de réglage à la cote correspondant à 1/2 (A O A + R F E) puis on engrène sans faire bouger ni vilebrequin ni arbre ou plateau.

Influence d'un décalage.

Décaler l'arbre à cames, c'est modifier l'angle de calage de l'arbre par rapport au vilebrequin. Supposons que nous voulions le décaler S M d'un angle α nous porterons sur le disque S M un angle

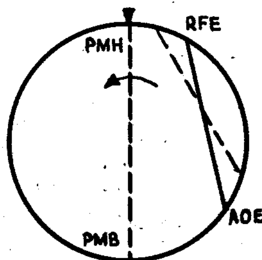
$$\beta = \frac{1}{k} \cdot \alpha$$

k étant le rapport de vitesse entre l'arbre et le moteur.



DISQUE

CARACTERISTIQUE "ADM"

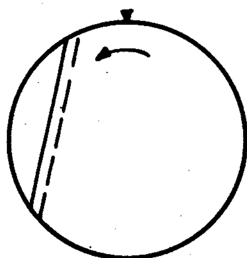


CARACTERISTIQUE "ECH"

On désengrène les entrainements on amène le nouveau repère en face de l'index et on rengrène.

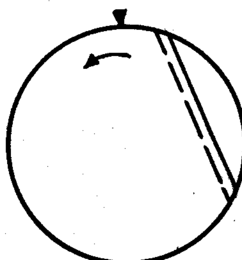
Alors A O A et A O E augmentent ; R F A et R F E diminuent. Dans le cas d'un décalage S I M, nous aurions l'inverse. La caractéristique de soupape tourne donc autour du centre du disque, ses extrémités se déplaçant d'angles égaux ; cette caractéristique tourne dans le S M du moteur pour une avance et S I M pour retard.

Influence des jeux de soupape.



ADM

AUGMENTATION DE JEU



ECH

AUGMENTATION DE JEU

Supposons que nous augmentions le jeu ; l'attaque de soupape se produit plus tard et la fermeture plus tôt, la durée d'ouverture étant diminuée. La caractéristique se déplace parallèlement à lui-

même (si les 2 faces de la came sont symétriques), et généralement vers le centre du disque. Si on diminue le jeu, l'effet inverse se produit.

Principe de réglage.

Il faut opérer pour que la caractéristique relevée se superpose le plus exactement possible avec la caractéristique optima. On aura donc 2 moyens de corrections : par décalage de l'arbre ou plateau à came - par modification des jeux de soupape. Cependant ce dernier moyen ne sera pas employé et les jeux devront obligatoirement être ceux du constructeur.

Opérations successives.

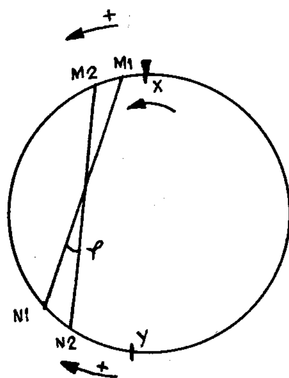
a) relever les points morts ;

b) mettre le jeux de réglage ; dans le cas d'un moteur en étoile, il faudra rechercher l'intercame donnant le jeu minimum et régler le jeu de soupape sur cet intercame.

c) mettre l'arbre ou plateau à cames en bascule ;

d) relever les cotes indicées 1 ;

e) calculer l'écart de position : soit $M_1 N_1$ à amener sur $M_2 N_2$. Il faut pour cela, que la caractéristique tourne d'un angle ρ tel que :



lu : $M_1 N_1$

opt : $M_2 N_2$

$$\rho = \frac{1}{2} (M_1M_2 + N_2N_1)$$

$$\rho = \frac{1}{2} (XM_2 - XM_1) + \frac{1}{2} (YN_1 - YN_2)$$

Les arcs étant comptés algébriquement suivant le sens indiqué.

$$\rho = \frac{1}{2} (- X M_1 + Y N_1) + \frac{1}{2} (X M_2 - Y N_2)$$

$$= \frac{1}{2} (- A O A_{lu} + R F A_{lu}) - \frac{1}{2} (- A O A_{opt} + R F A_{opt})$$

$$= \frac{1}{2} (R F A_{lu} - A O A_{lu}) - \frac{1}{2} (R F A_{opt} - A O A_{opt})$$

Ceci tenant compte du sens de la mesure des avances qui est inverse du sens de mesure des retards.

Pour une soupape d'échappement, on aurait trouvé :

$$\gamma = \frac{1}{2} (R F E_{lu} - A O E_{lu}) - \frac{1}{2} (R F E_{opt} - A O E_{opt})$$

avec $\gamma \neq \rho$ parce que les organes de commandes ne sont pas rigoureusement identiques, les montages non parfaits etc....

Comme on ne peut réaliser simultanément les décalages correspondants à ρ et γ on fait un décalage moyen $1/2 \ (\rho + \gamma)$ et cet écart moyen =

$$\text{écart moyen} = \frac{1}{4} (R F A_{lu} - A O A_{lu} + R F E_{lu} - A O E_{lu}) -$$

$$\frac{1}{4} (R F A_{opt} - A O A_{opt} + R F E_{opt} - A O E_{opt})$$

On fait la même chose pourles N cylindres et on obtient l'écart moyen.

$$\frac{1}{4 N} (\Sigma \text{ retards} - \Sigma \text{ avances}) - \frac{1}{4} (R F A_{opt} + R F E_{opt}) -$$

$$(A O A_{opt} + A O E_{opt})$$

on limite ainsi les inconvénients pouvant provenir d'une came usée.

f) effectuer la correction correspondante ;

g) relever les cotes après correction ;

h) mettre les jeux définitifs ;

i) caler le 2ème arbre à came s'il y a lieu ou, s'il s'agit d'un moteur en double étoile, caler le 2ème plateau de cames.

j) caler les magnétos ;

CHAPITRE VI

EQUILIBRAGE

E Q U I L I B R A G E

Une machine est dite équilibrée lorsque les appuis supposés rigides éprouvent des pressions constantes ; il n'y a pas alors de vibration.

Cette perfection est pratiquement impossible à obtenir et on dit alors qu'un moteur est équilibré quand les vibrations ne sont pas nuisibles.

Les vibrations ont 3 causes :

1 - défaut d'équilibrage de pièces animées d'un mouvement de rotation continu.

2 - défaut d'équilibrage de pièces animées d'un mouvement rectiligne alternatif.

3 - irrégularité du couple moteur provenant soit de la variation de l'effort moteur dans chaque cylindre, soit de la répartition plus ou moins bonne des explosions dans un groupement de cylindres sur la durée totale du cycle.

Les pièces principales en mouvement sont : pistons, bielles, vilebrequin.

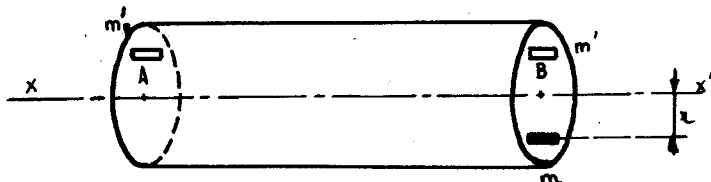
- Les pistons sont animés d'un mouvement rectiligne alternatif ; leur mouvement est périodique et ils possèdent la même vitesse V et la même accélération . tous les 360° du vilebrequin. On aura donc une force d'inertie alternative.

- Le vilebrequin est sollicité par les forces centrifuges.

- Les bielles sont animées d'un mouvement plus compliqué composé d'une translation et d'une rotation qui donne naissance à des forces d'inertie ; à ce point de vue, la bielle peut se ramener à 2 masses égales chacune à la moitié de celle de la bielle et fixées l'une au maneton, l'autre à l'axe du piston.

Quels sont les effets de ces efforts périodiques ?

Nous devons auparavant définir l'équilibrage statique et l'équilibrage dynamique.



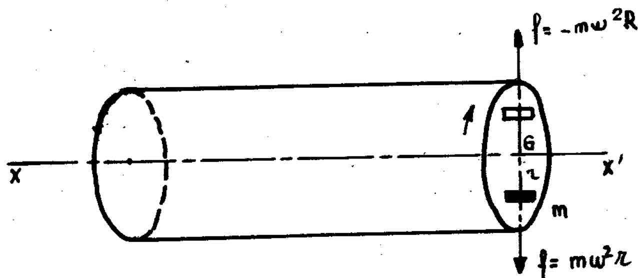
1 - Equilibrage statique :
Soit un cylindre mobile autour d'un axe XX'. On introduit un déséquilibre à l'aide d'une masse **m** située à une distance r de l'axe.

Pour rétablir l'équilibre il faut rajouter une masse m' telle que le centre de gravité de toutes les masses soit sur l'axe X X'.

La masse m' peut être égale et opposée à m (B) ; elle peut être aussi à une distance r' telle que m r = m' r' ; elle peut enfin se trouver en m_1' (A). Quelle qu'en soit la position, l'équilibre statique est généralisé si le centre de gravité de toutes les masses est sur X' X.

2 - Equilibre dynamique :

Si on fait tourner le cylindre autour de X' X, les masses sont soumises à des forces centrifuges de la forme $F = M\omega^2 R$.



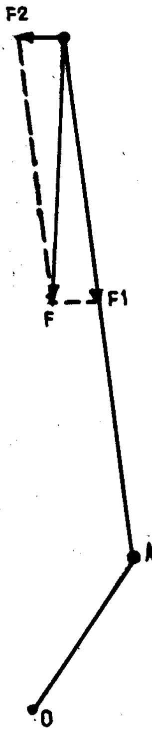
A la masse m doit correspondre une masse égale et opposée, de telle façon que le centre de gravité soit sur l'axe. Cet axe doit être axe principal d'inertie, c'est-à-dire doit être confondu avec un des grands axes de l'ellipsoïde d'inertie. A noter que si une pièce a un axe de symétrie, cet axe est aussi axe principal d'inertie.

1°) - Effort moteur (schéma 1)

a) - Son maximum a lieu très légèrement après le point mort haut ; il est dû à la pression d'explosion qui atteint 30 à 35 k / cm2. Cet effort tend à allonger le cylindre, à arracher ses goujons d'embrase, à comprimer la bielle, à mâter les articulations de la bielle, à flêchir l'arbre.

Au fur et à mesure de la rotation de l'arbre, ces efforts diminuent et les organes reprennent leur situation normale par élasticité.

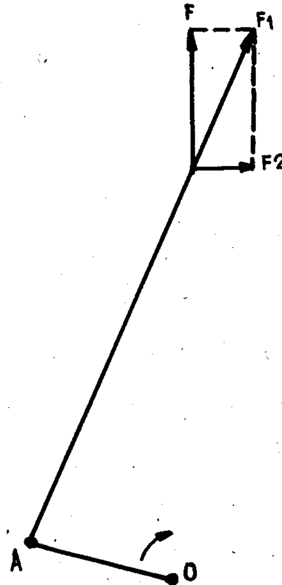
b) - Pendant la course de détente, la force F dirigée suivant l'axe du cylindre se décompose en 2 forces F_1 et F_2. F_1 produit le couple moteur, F_2 le couple de renversement et tend à faire tourner le moteur autour de l'arbre



EFFORT MOTEUR
(Schéma 1)

2°) - <u>Effort résistant</u>
(schéma 2)

Pendant la compression le piston est actionné par l'arbre qui exerce la force F_1 ; F_1 se décompose en F et F_2 la force F comprime le mélange gazeux, la force F_2 fait osciller le cylindre et le moteur en sens inverse du sens précédent, les efforts étant parfois moins importants.



EFFORT RESISTANT
(schéma 2)

3°) - <u>Forces d'inertie centrifuge dues aux organes en rotation</u>.

Supposons le vilebrequin animé d'une vitesse de rotation uniforme , chaque maneton ayant sa masse augmentée de la fraction de la masse de la bielle qui l'actionne.

Soit m'_3 la masse du demi-coude du vilebrequin

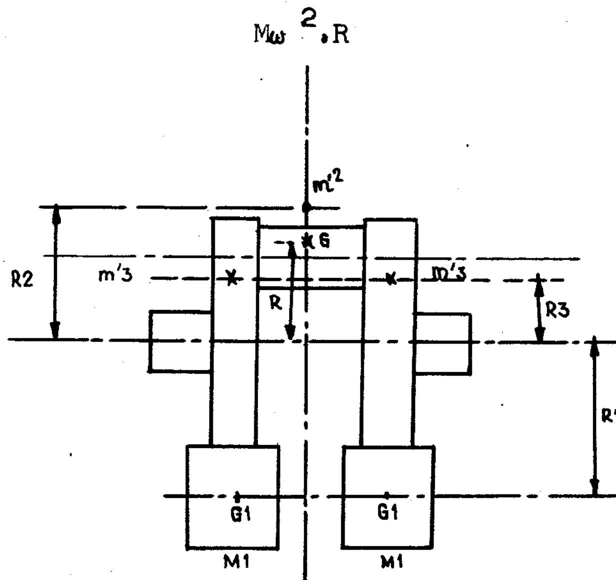
m'_2 la masse de la tête de bielle et d'une partie du corps

La masse à équilibrer est :

$$M = 2\, m'_3 + m'_2$$

Désignons par G le centre de gravité de ces masses, situé à la distance R de l'axe du vilebrequin ; la force centrifuge sera :

$$M\omega^2.R$$



Cette force centrifuge a pour effet de produire sur les coussinets portant le vilebrequin une pression égale à $M\omega^2.R$ qui fait changer à chaque instant le point d'application de l'arbre sur son coussinet : c'est une cause de frottement et d'usure. Cette force donne d'autre part des vibrations selon qu'elle s'ajoute ou qu'elle se retranche du poids du moteur.

Or, pour qu'un mécanisme pouvant tourner autour d'un axe soit en équilibre statique, il faut et il suffit que le centre de gravité de toutes les masses soit sur l'axe.

On peut donc équilibrer statiquement ces masses en prolongeant les bras de la manivelle au delà de O et en y adjoignant 2 masses M_1 de centre de gravite G_1 telles que :

$$2\, M_1\, R_1 = 2\, m'_3\, r_3 + m'_2\, r_2 = M\, R$$

De plus, pour qu'un corps animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe, n'exerce sur ses appuis aucun autre effort que celui de la pesanteur, il faut et il suffit que le centre de gravité soit sur l'axe et que cet axe soit axe principal d'inertie. Cette condition

est remplie si les masses M et M_1 sont dans un même plan vertical, ou si les 2 masses M_1 sont réparties symétriquement à ce plan.

4 - Forces d'inertie alternatives.

L'inertie des pièces animées d'un mouvement de translation est produite par la masse M'

$$M' = m' + m'_1$$

m' = masse du piston complet

m'_1 = masse du pied de bielle et de la moitié du corps environ.

Elle est toujours dirigée suivant l'axe du cylindre et exerce un effort vertical alternatif sur le coussinet, qui le transmet au moteur et au bâti. On la décompose en une force d'inertie I_1 suivant la bielle, et I_2 normale au cylindre.

Pour équilibrer ces forces d'inertie, il serait nécessaire d'installer des contrepoids animés de mouvement alternatif, ce qui est difficile.

Nous avons vu dans un chapitre précédent la valeur de l'accélération, que nous rappelons ci-après :

$$\gamma = \frac{\omega^2 c}{2} \left(\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{2\lambda} \right)$$

où

$$\lambda = \frac{l}{c} = \frac{\text{longueur bielle}}{\text{course}}$$



d'où résulte la formule de la force d'inertie alternative

$$F = \frac{M\omega^2 C}{2} \left(\cos \theta + \frac{\cos 2\theta}{2\lambda} \right)$$

Cette force est périodique et admet la période 2Π correspondant à un tour de manivelle ; on peut la décomposer en 2 forces de même ligne d'action, respectivement égales en valeur absolue à :

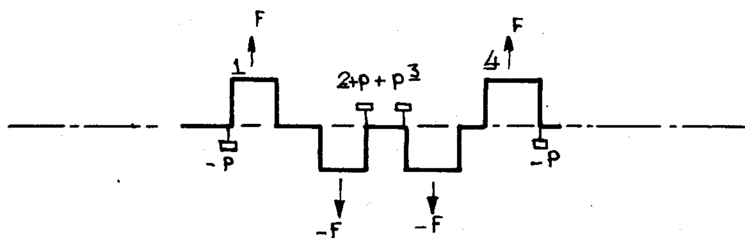
$$F_1 = \frac{M\omega^2 . C}{2} \cos\theta = M\omega^2 . r . \cos\theta$$

$$F_2 = \frac{M\omega^2 . C}{2} \frac{\cos 2\theta}{2\lambda} = \frac{M\omega^2 . r^2}{l} \cos 2\theta$$

Ces forces ne pouvant être équilibrées pour chaque cylindre on augmentera le nombre des cylindres.

Application à quelques types de moteurs.

1 - Moteur 4 cylindres en ligne.



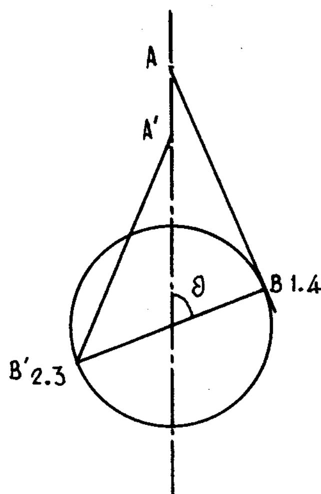
Dans le cas d'un moteur à 5 paliers, le vilebrequin aura la forme ci-centre, de telle façon que les allumages se succèdent régulièrement tous les $\frac{4\pi}{4\pi} = \pi$ c'est-à-dire tous les demi-tours.

Considérons les forces d'inertie primaires :

cylindres 1 et 4 = $F_A = M\omega^2 . r \cos\theta$

cylindres 2 et 3 = $F_B = M\omega^2 . r \cos(\theta + \pi) = - M\omega^2 r \cos\theta$

Ces forces s'annulent ; d'autre part les couples crées par les pistons sont égaux et de sens contraire. Si donc l'axe est indéformable, l'ensemble est équilibré.



Si on considère les forces d'inertie secondaires :

cylindres 1 et 4 : $F = \frac{M\omega^2 r^2}{l} \cos 2\theta$

$$\text{cylindre 2 et 4 : } F = \frac{M\,\omega^2 .\, r^2}{l} \cos 2\,(\theta + \Pi)$$

$$= \frac{M\,\omega^2 .\, r^2}{l} \cos 2\,\theta$$

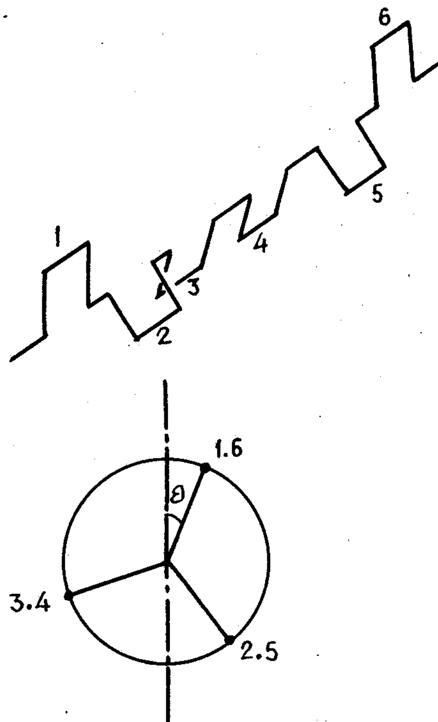
Ces forces sont donc égales, admettent une résultante unique :

$$R = 4\,\frac{M\,\omega^2 .\, r^2}{l} \cos 2\,\theta$$

maximum pour $\theta = 0$ et pour $\theta = \pm \frac{\Pi}{2}$, donc maximum tous les 1/4 de tour.

Remarque : Par suite des déformations que prend l'axe sous l'action des couples d'inertie, on peut avoir intérêt à équilibrer séparément ses 2 moitiés. On met alors desccontreproids + P et - P de telle façon que le couple F et - F de gauche soit égal et de sens contraire au couple P, - P.

2 - Moteur 6 cylindres en ligne.



Les allumages se succèdent tous les $\frac{2\Pi}{3}$ et les manetons du vilebrequin sont à 120° autour de l'axe de rotation.

En considérant ces forces d'inertie primaires pour les cylindres 1. 6, 2. 5, 3. 4

$$F_A = M\,\omega^2\, r \cos\theta$$

$$F_B = M\,\omega^2\, r \cos\left(\theta + \frac{2\Pi}{3}\right)$$

$$F_C = M\,\omega^2\, r \cos\left(\theta + \frac{4\Pi}{3}\right)$$

En developpant, on constate que ces 6 forces s'annulent si l'arbre est indéformable ;

il est considéré comme en équilibre.

Le même processus permet de constater que les forces secondaires s'annulent.

Le moteur 6 cylindres est donc pratiquement équilibré.

3 - Moteur 12 cylindres en V.

Le vilebrequin est celui du 6 cylindres, avec allumage tous les $\frac{720}{12} = 60°$; les branches du V doivent donc être à 60°.

La composition des forces d'inertie se fait comme pour un 6 cylindres, chaque rangée donnant une résultante ; ces 2 résultantes ont elles-mêmes une résultante générale très faible.

4 - Moteurs en étoile.

Les cylindres en nombre N ont leurs axes dans un même plan (ou dans 2 plans parallèles s'il s'agit du moteur double étoile). Ces cylindres font entre eux des angles égaux. Le vilebrequin ne comprend qu'un seul maneton (ou 2 manetons à 180° s'il s'agit d'un double étoile) sur lequel viennent s'articuler les bielles.

La force d'inertie centrifuge due à la pièce centrale sur laquelle viennent s'articuler les bielles et qui tourbillonne autour du maneton peut être considérée comme constante et par suite être équilibrée.

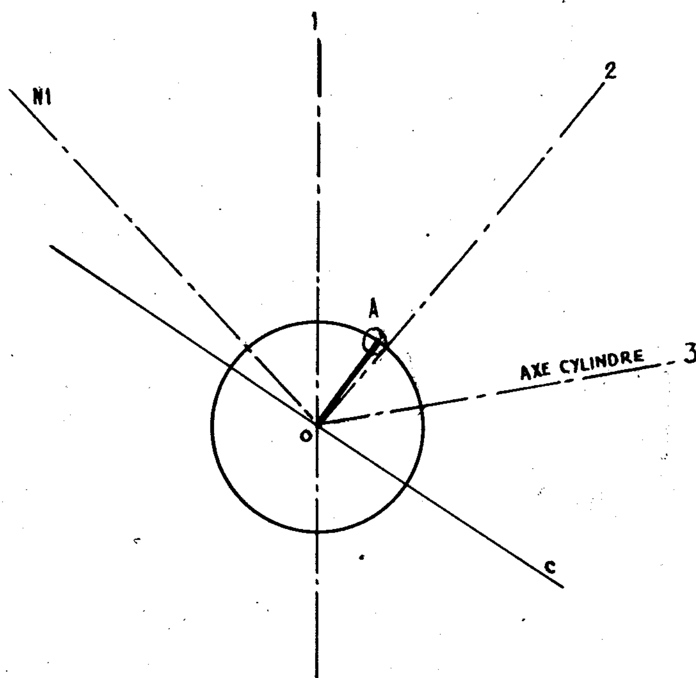
L'inertie primaire est dirigée suivant chaque cylindre :

n° 1 $\quad F_1 = m\omega^2 r \cos\theta$

n° 2 $\quad F_2 = m\omega^2 r \cos(\theta + \alpha)$

n° 3 $\quad F_3 = m\omega^2 r \cos(\theta + 2\alpha)$

n° N $\quad F_N = m\omega^2 r \cos\left(\theta + \frac{N-1}{N} 2\Pi\right)$



On démontre que la projection sur O A est Cte

$$R = M \omega^2 r \frac{N}{2}$$

et que sur O C ⊥ O A cette projection est nulle.

La force d'inertie primaire est donc Cte et peut être équilibrée par un contrepoids.

L'inertie secondaire est aussi dirigée suivant l'axe de chaque cylindre. D'après la même méthode que ci-dessus, on constate que la résultante générale est pratiquement nulle. Cependant, sur les gros moteurs, on procède à l'équilibrage en adjoignant des contrepoids tournant à 2 fois la vitesse du moteur.

Bien entendu, le contrepoids équilibrant l'inertie primaire peut équilibrer aussi les forces centrifuges.

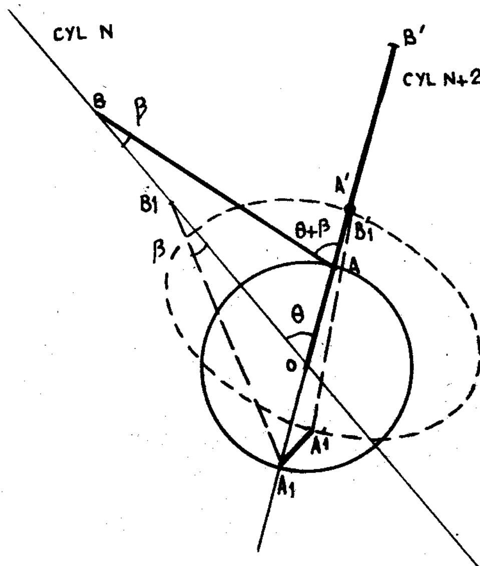
On peut mieux loger dans ces contrepoids des masses mobiles qui absorbent les vibrations de torsion.

Dans la pratique, on n'obtient pas un résultat aussi net car les têtes de bielles, n'ont pas le même axe que le maneton mais viennent s'articuler sur une bielle plus robuste, dite bielle maitresse qui tourillonne sur le maneton. Néanmoins le moteur en étoile est encore celui qui donne l'équilibrage le plus satisfaisant.

Dans un tel moteur, il faudrait que :

- les différentes courses soient égales ;

- les P M H soient à la même distance de l'axe du vilebrequin ;

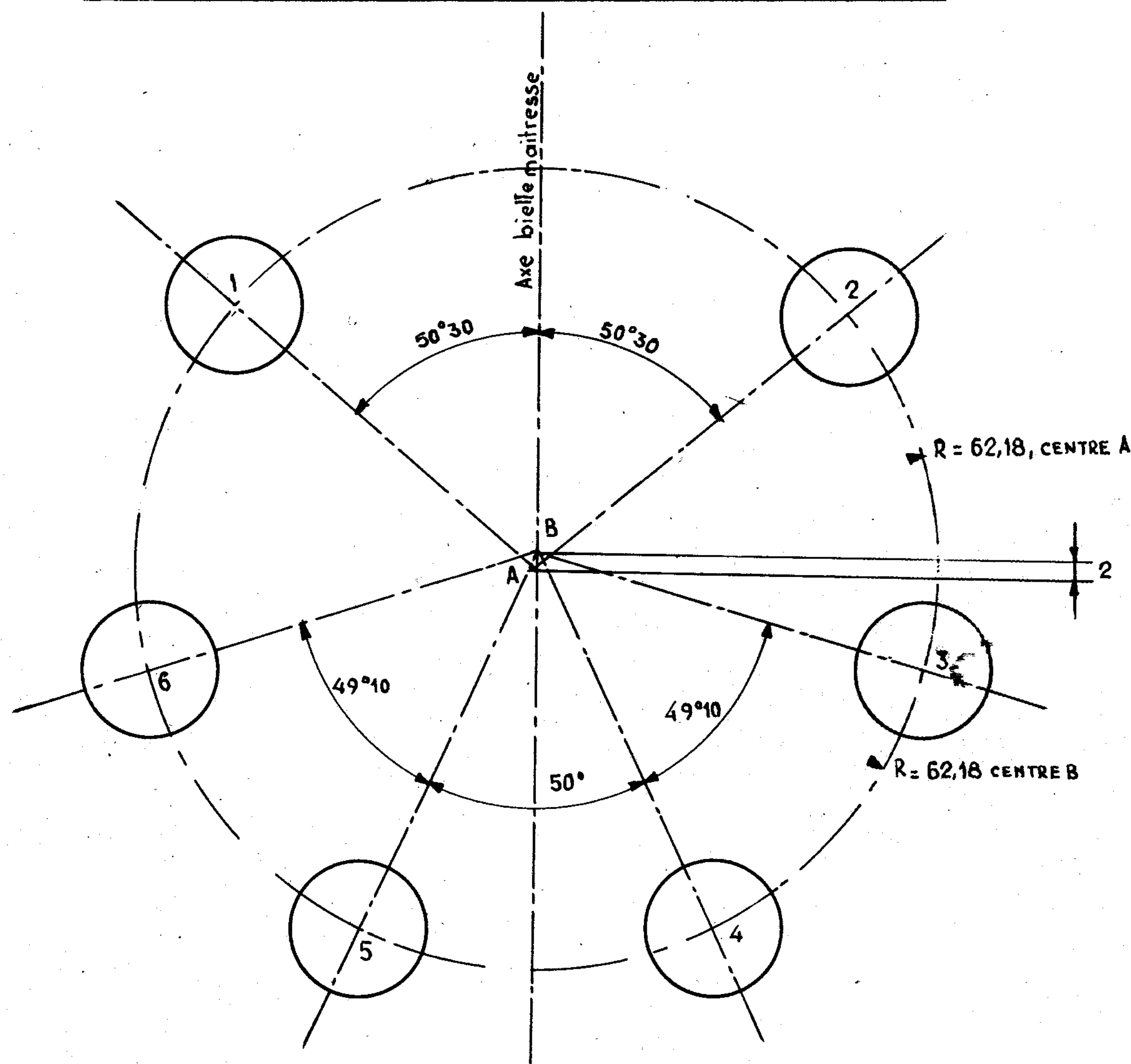


Pour obtenir la régularité angulaire des explosions il serait nécessaire que le point B' soit au P M H quand la manivelle O A a tourné à partir de O B d'un angle θ correspondant à l'angle de 2 cylindres à allumer. Dans un tel cas l'angle B A B' est égal à (θ + β) en appelant β l'obliquité de la bielle. Mais le P M B correspondant à la position O A_1 ne correspond pas à une position axiale de la biellette ; la course du 2ème cylindre est plus longue que celle du 1er

Pour avoir la même course, on admet la même obliquité de la biellette par rapport au cylindre, dans un sens pour le P M B, dans l'autre sens pour la P M H, c'est-à-dire que l'angle B $\hat{A}$ A' = θ il en résulte que la régulation des soupapes et l'A. A. ne restent pas rigoureusement les mêmes(cet inconvénient n'existe pas avec les bielles à fourche).

La pratique veut que toutes les biellettes aient la même longueur pour des raisons d'interchangeabilité ; les axes de tête sont alors répartis suivant une courbe légèrement ovoïde ; toutefois comme cette répartition n'est pas rigoureusement exacte, il en résulte des écarts dans les P M H d'où des redans dans les cylindres qui nuisent à leur interchangeabilité des uns aux autres sans retouche particulière.

BIELLE MAITRESSE DU PW R1830



- Les axes des biellettes 1 et 2 sont sur un cercle de centre A ; les axes de 3 - 4 - 5 - 6 - sont sur un cercle de même rayon, mais dont le centre est plus haut de 2 m m.

- Les P M H se trouvent tous sur un même cercle qui a pour centre l'axe du moteur.

- Les inclinaisons sont plus grandes pour les biellettes que pour la B. M. (B M : 28°20' - 1 et 2 : 31°25' - 3 et 6 : 38°10' - 4 et 5 : 43°

- Necessité d'employer une came à bossages disymétriques, les P M H ne correspondant pas à des angles égaux de rotation du vilebrequin.

CHAPITRE VII

TECHNOLOGIE DU MOTEUR

- Généralités
- Vues Wright R 3350
- Vues Pratt et Whitney R 1830 et R 2800

Classification des moteurs.

On demande à un moteur d'avion d'être sûr et endurant, consommant peu d'essence et peu d'huile, avoir un couple régulier.

Les moteurs à refroidissement par eau ayant à peu près disparu, il reste le moteur à refroidissement par air - soit en ligne, - soit en étoile.

Les moteurs en ligne sont actuellement des moteurs de faible ou moyenne puissance équipant les avions légers ou les avions d'affaire.

Les moteurs en étoile sont les seuls utilisés sur les avions commerciaux : Pratt et Whitney R 1830 sur D C 3, Pratt et Whitney R 2000 sur D C 4, Pratt et Whitney R 2800 sur Breguet 763 et D C 6, Wright R 3350 sur Constellation, Super Constellation et Super Star. Ne citons que pour mémoire le Pratt 28 cylindres (4 x 7) utilisé en son temps sur l'Armagnac.

Le refroidissement de ces moteurs nécessite de nombreuses ailettes sur les fûts de cylindres et sur les culasses, ainsi qu'un bon refroidissement de l'huile.

Nous prendrons comme exemple le moteur P W.

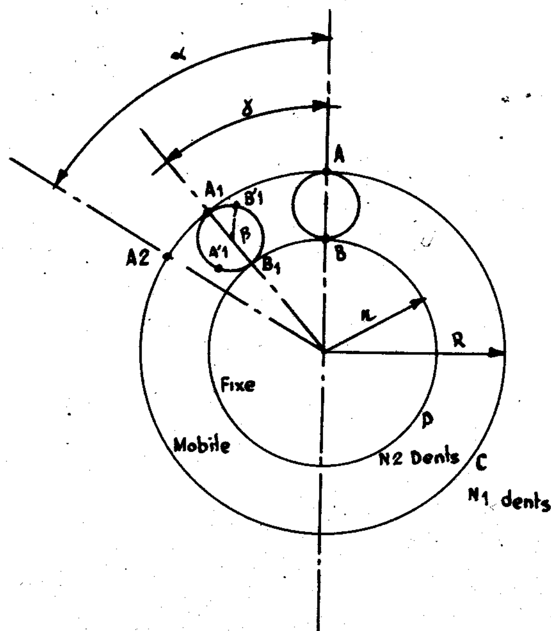
Différentes sections du moteur.

1° Section avant. C'est la section du réducteur, ensemble chargé de réduire la vitesse du moteur pour que l'hélice tourne à un régime mieux adapté à son bon rendement.

On y trouve : l'arbre porte hélice, la couronne fixe solidaire des carters, la couronne mobile solidaire du vilebrequin, les satellites solidaires de l'arbre porte hélice.

Les schémas ci-après donnent une disposition générale des couronnes et un moyen simple de déterminer un rapport de réduction.

Réducteur à satellites droits (Wright - P W R 2800)



Les satellites planétaires tournent sur une couronne fixe P solidaire du carter du réducteur; la couronne porte-satellites est solidaire de l'arbre porte hélice ; la couronne C est entrainée par le vilebrequin.

1° - le satellite ne peut tourner sur son axe. P, au lieu d'être fixe, est mobile.

Si on fait tourner la couronne mobile C d'un angle γ , le point de contact A passe en A_1 et B vient en B_1 tel que :

$$B_1 B = r \gamma$$

2° - Immobilisons l'axe du satellite dans cette position et laissons tourner le satellite. Ramenons la couronne fixe à sa place d'origine, comme si elle n'avait pas tourné ; le satellite tourne autour de son axe d'un angle β ; B_1 vient en B'_1 et A_1 vient en A'_1.

$$A_1 A'_1 = B_1 B'_1 = B_1 B$$

Le point de la couronne C qui était en A_1 vient en A_2 tel que :

$$A_1 A_2 = A_1 A'_1 = B_1 B'_1 = B_1 B$$

donc

$$R (\alpha - \gamma) = r.\gamma$$

$$\alpha = \frac{r + R}{R} . \gamma = (1 + \frac{r}{R}). \gamma$$

d'où :

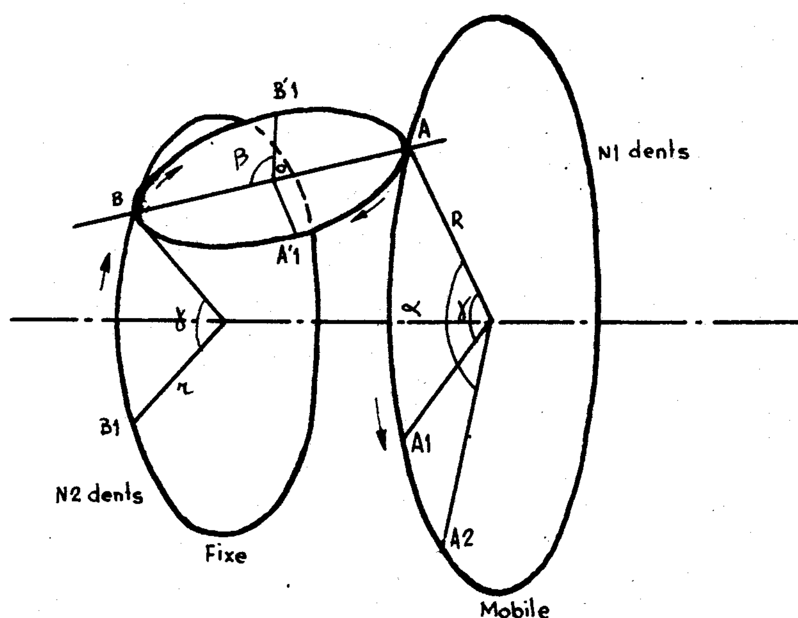
$$\frac{\alpha}{\gamma} = 1 + \frac{r}{R}$$

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 1 + \frac{N_2}{N_1}$$

<u>Réduction à pignons droits</u> (Hispano 12 Y - moteur canon).

Pour mémoire.

<u>Réducteur à satellites coniques</u> (Pratt et Whitney 1830 et 2000).



M couronne mobile

F couronne fixe

1° - <u>Satellite bloqué sur son axe F mobile</u>.

M tourne de γ , donc l'ensemble tourne de γ. A vient en A_1, B vient en B_1, le centre O du satellite se déplace de γ

$$B B_1 = r.\gamma$$

2° - <u>Axe du satellite bloqué. Satellite libre sur son axe</u>.

Ramenons F à sa position initiale en la faisant tourner de γ en sens inverse.

B_1 de la couronne fixe vient en B.

Le satellite tourne sur son axe d'un angle β ; B vient en B'_1 et A vient en A'_1.

La couronne mobile continue à tourner et A_1 vient en A_2 et on a :

$$B_1 B = r\gamma = A A'_1 = B B'_1 = A_1 A_2$$

3° - En fin de compte, le porte satellite a tourné de γ et la couronne mobile a tourné de α. La couronne fixe est à sa position initiale.

On a :

$$A A_2 = A A_1 + A_1 A_2 = R.\gamma + r.\gamma = \gamma . (R + r)$$

$$A A_2 = R \alpha$$

donc :

$$R \alpha = \gamma (R + r)$$

$$\alpha = \gamma \frac{R + r}{R} \quad \text{ou} \quad \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{R + r}{R} = 1 + \frac{r}{R}$$

Les rayons étant proportionnels au nombre de dents des couronnes, on a :

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 1 + \frac{N_2}{N_1}$$

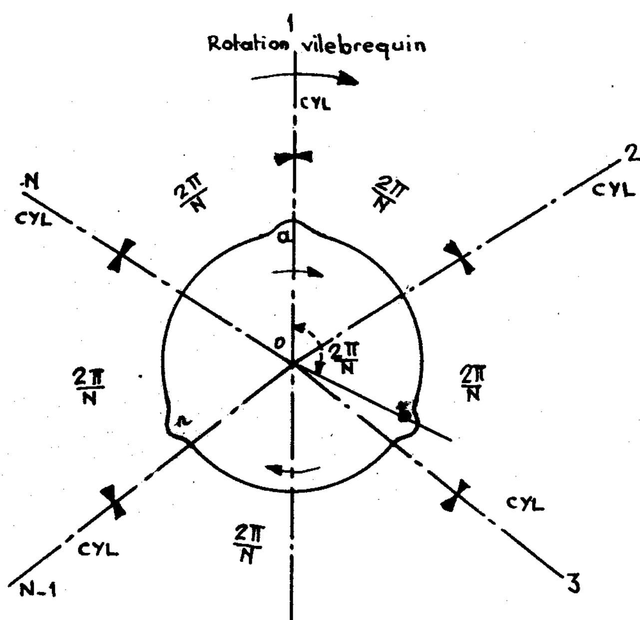
N_1 étant le nombre de dents de la couronne mobile et N_2 celui de la couronne fixe.

A titre d'exemple, le réducteur du P W R 1830 est de 9 / 16, celui du P W R 2000 est de 1 / 2.

2 - <u>Section principale</u> ou section de puissance. Elle comprend la distribution avant et arrière, les carters principaux, les cylindres, l'embiellage avec - par étoile - la bielle maitresse et les biellettes les pistons, les paliers du vilebrequin et les coussinets de bielle maitresse (plomb- indium, ou plomb-étain 7 % - ou plomb - étain - antimoine).

La distribution comprend les plateaux de cames à double rangée de cames (A D M, E C H), les galets, les poussoirs, les tringles et les cache-tringles, les culbuteurs, les soupapes avec leurs ressorts.

2 - 2 - <u>Vitesse de rotation et nombre de cames des plateaux.</u>



Le plateau de cames peut tourner dans le sens du moteur, ou en sens inverse.

2 - 2 - 1 - <u>le plateau tourne dans le sens moteur</u> : L'étoile possède N cylindres numérotés 1 - 2 - 3 -..... N, qui doivent être allumés en 2 tours ; les allumages se succèdent tous les :

$$2 \times \frac{2\pi}{N}$$

Si " n " est le nombre de bossages de la came, l'angle entre 2 bossages est :

$$\frac{2\pi}{n}$$

Lorsque la soupape du cylindre 1 est attaquée par la came " a ", celle qui la précède immédiatement dans le sens de rotation doit se trouver entre les cylindres 2 et 3 ; celle qui la suit immédiatement doit se trouver entre les cylindres N - 1 et N afin de respecter l'ordre d'allumage.

Supposons que la came " a " attaque le cylindre 1. Quand le moteur tourne de $2 \times \frac{2\Pi}{N}$ pour passer au cylindre 3 suivant dans l'ordre d'allumage, le plateau de cames doit tourner de :

$$2 \times \frac{2\Pi}{N} - \frac{2\Pi}{n}$$

et le rapport des vitesses est :

$$V = \frac{2 . \frac{2\Pi}{N} - \frac{2\Pi}{n}}{2 . \frac{2\Pi}{N}} = 1 - \frac{N}{2\ n}$$

La soupape du cylindre N ne sera attaquée par la came n que lorsque le vilebrequin aura tourné de :

$$2\Pi - \frac{2\Pi}{N}$$

et pendant ce temps la came doit tourner de :

$$\frac{2\Pi}{n} - \frac{2\Pi}{N}$$

et on a :

$$V = \frac{\frac{2\Pi}{n} - \frac{2\Pi}{N}}{2\Pi - \frac{2\Pi}{N}} = \frac{N - n}{n\ (N - 1)}$$

on a donc :

$$V = 1 - \frac{N}{2\ n} = \frac{N - n}{n\ (N - 1)}$$

En développant :

$$\frac{2n - N}{2n} = \frac{N - n}{n\ (N - 1)} \quad \text{ou} \quad 2n - N = 2\ \frac{N - n}{N - 1}$$

qui peut s'écrire :

$$2n - N = \frac{2\ N}{N-1} - \frac{2n}{N-1}$$

ou

$$2\ n + \frac{2\ n}{N-1} = \frac{2\ N}{N-1} + N$$

$$\frac{2\ N\ (N-1) + 2\ n}{N - 1} = \frac{2\ N + N\ (N-1)}{N - 1}$$

ou

$$2\ n\ (N-1 + 1) = 2\ N + N\ (N-1)$$

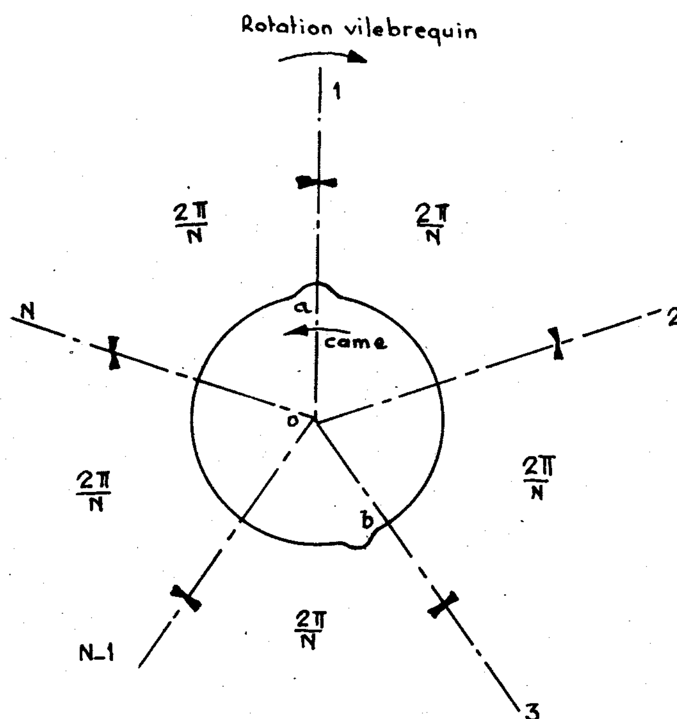
et on obtient :

$$n = \frac{N + 1}{2}$$

et en portant dans l'expression de V

$$V = \frac{1}{N + 1}$$

2 - 2 - 2 - Le plateau tourne en sens inverse du moteur.



Lorsque la came " a " attaque le cylindre 1, la came " b " doit se trouver entre les cylindres 3 et 4, en allant vers 3 ; la came " a " doit attaquer en temps opportun le cylindre N.

Si " a " attaque le cylindre 1, pendant que le moteur tourne de $\frac{2\,\Pi}{N}$ pour passer au cylindre 3, la " b " parcourt :

$$\frac{2\,\Pi}{n} - 2.\,\frac{2\,\Pi}{N}$$

et le rapport de vitesse plateau - vilebrequin est :

$$V = \frac{\frac{2\,\Pi}{n} - 2.\,\frac{2\,\Pi}{N}}{2.\,\frac{2\,\Pi}{N}} = \frac{N}{2\,n} - 1$$

La soupape du cylindre N ne doit être attaquée par " a " que lorsque le moteur aura tourné de :

$$2\,\Pi - \frac{2\,\Pi}{N}$$

et on a :

$$V = \frac{\frac{2\Pi}{N}}{2\Pi - \frac{2\Pi}{N}} = \frac{1}{N - 1}$$

donc :

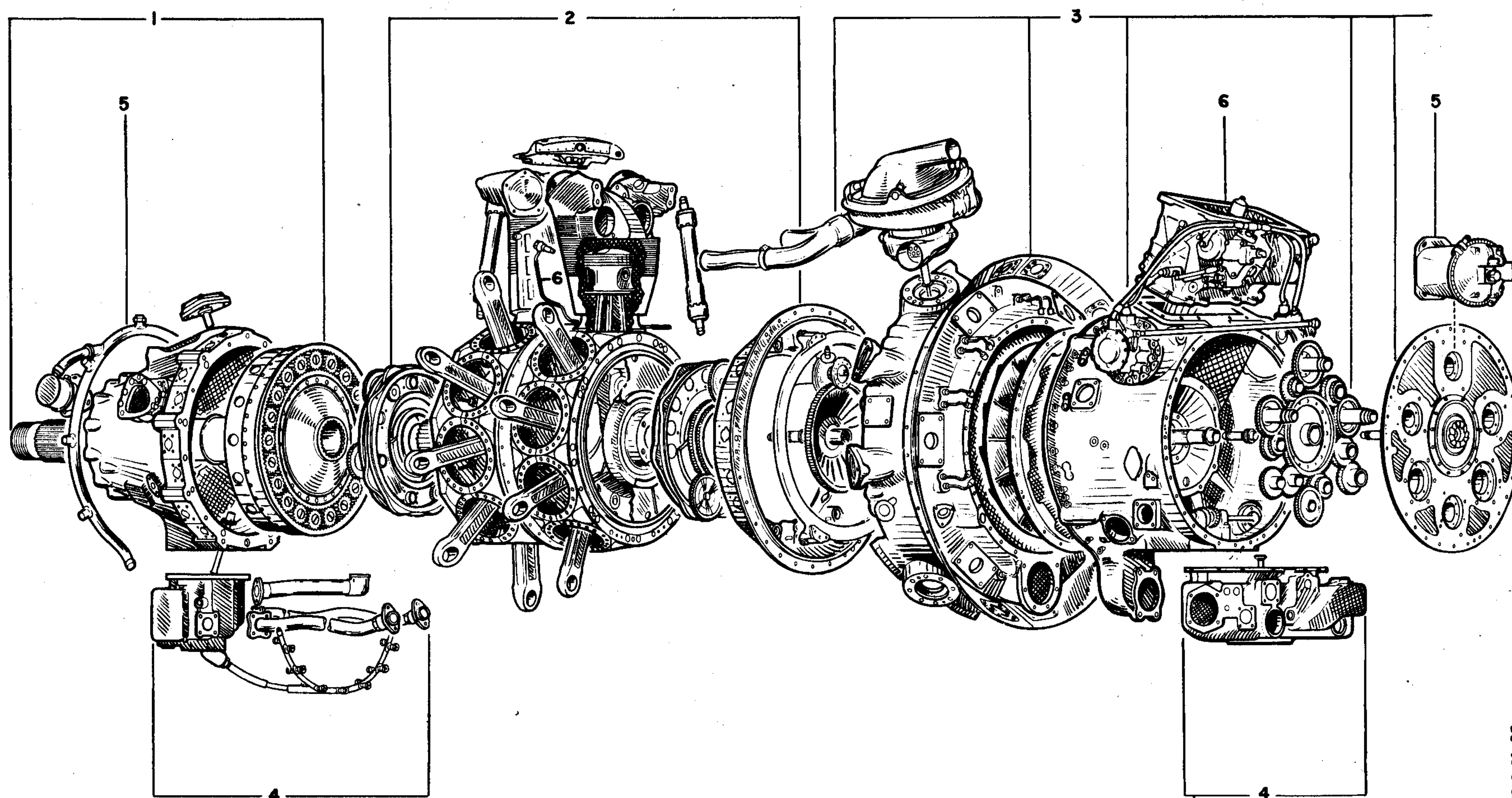
$$V = \frac{1}{N - 1} = \frac{N}{2n} - 1$$

d'où

$$\boxed{n = \frac{N - 1}{2} \qquad V = \frac{1}{N - 1}}$$

3 - Section arrière.

On y trouve le carter de diffuseur arrière, le carter intermédiaire qui contient la turbine et le carter arrière qui porte les pompes à huile, les accessoires.



Index Number		Figure Number
1.	Crankcase Front Section Assembly Complete	2-6
2.	Power Section	7-18
3.	Supercharger Section and Accessory Drives	19-33
4.	Oil Pumps and External Oil Lines	34-38
5.	Ignition System	39-40
6.	Fuel Injection System	41-44

Figure 1 Exploded View of Complete Engine

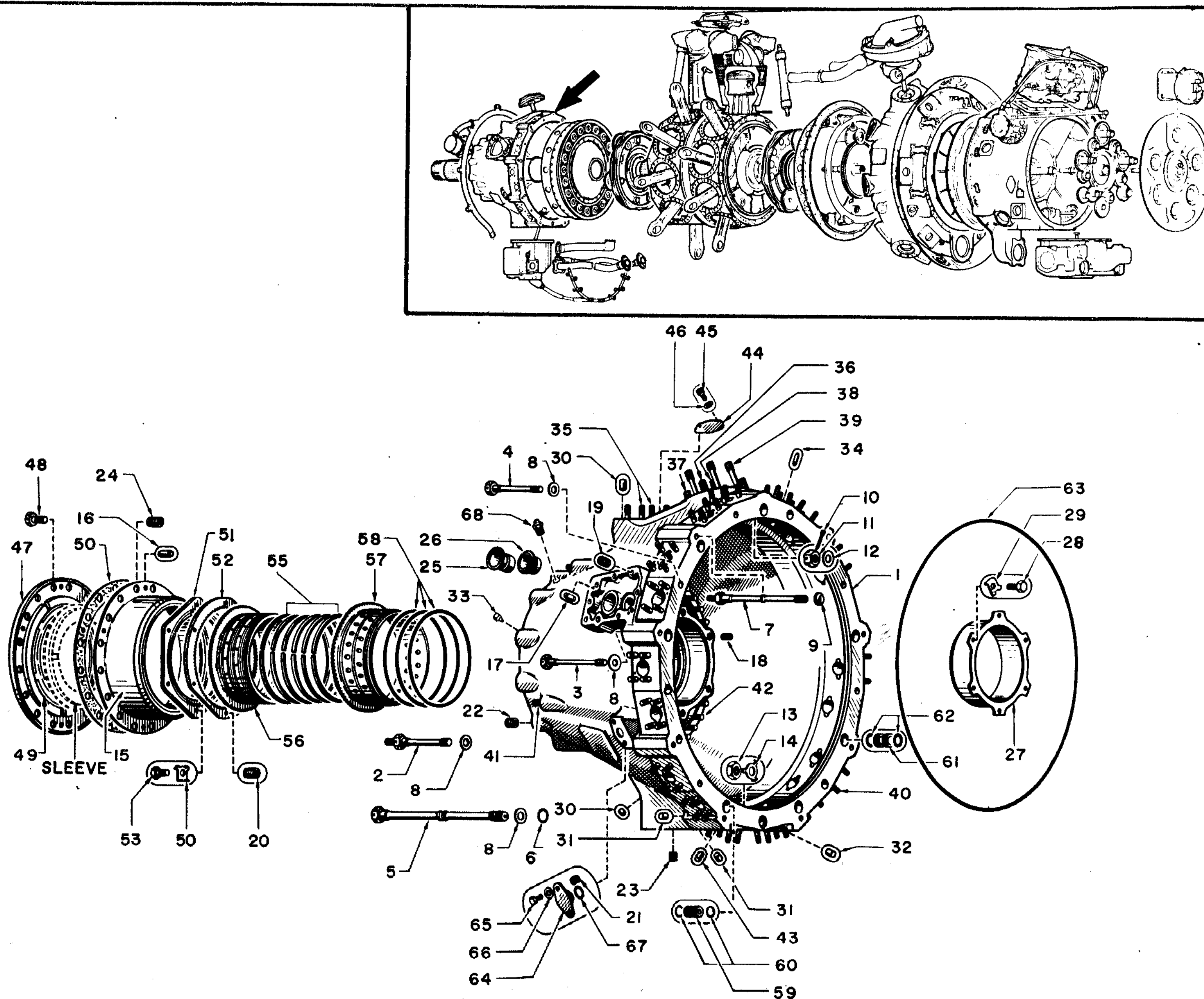


Figure 2 Crankcase Front Section

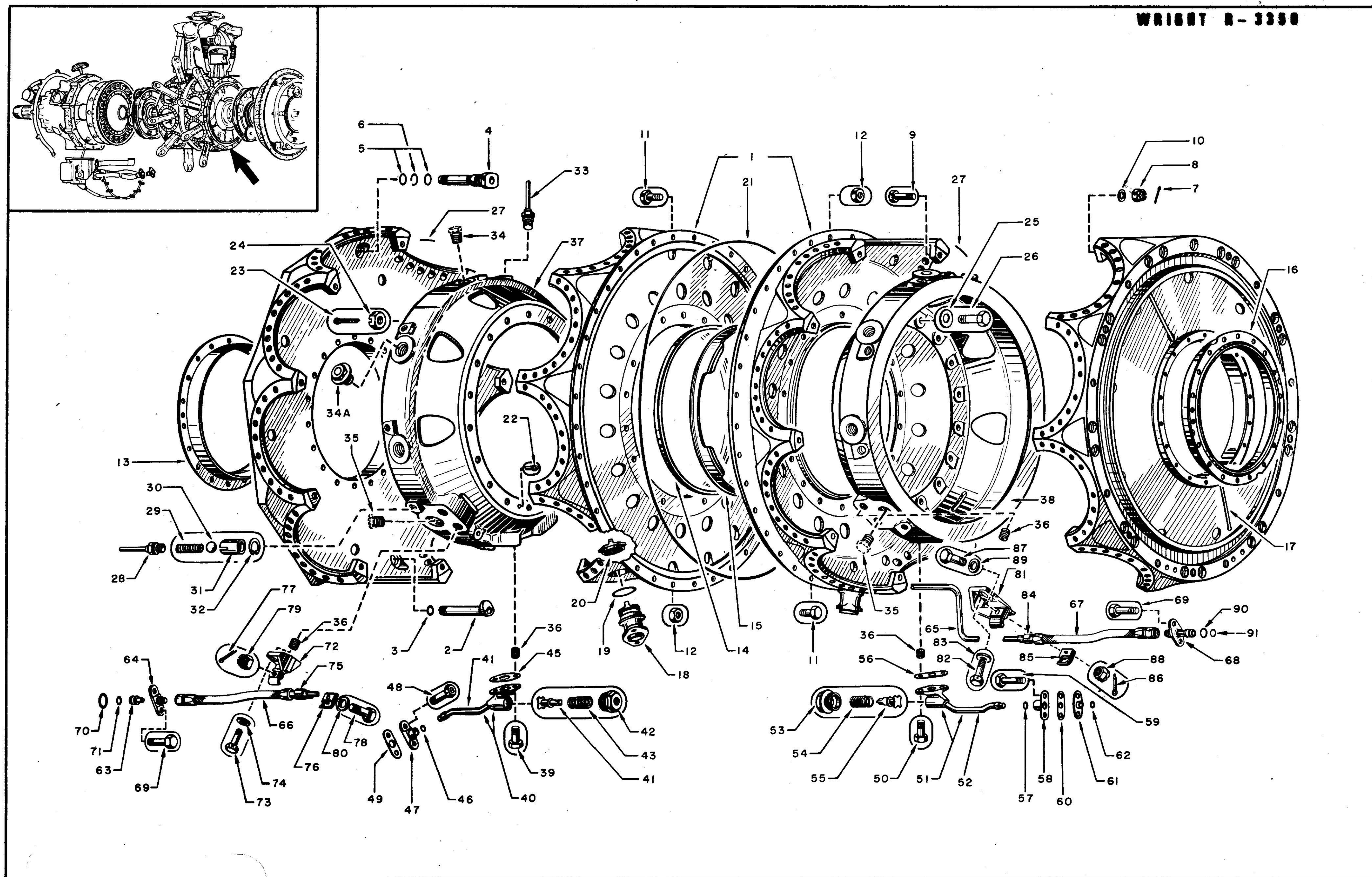


Figure 3 Crankcase Main Section

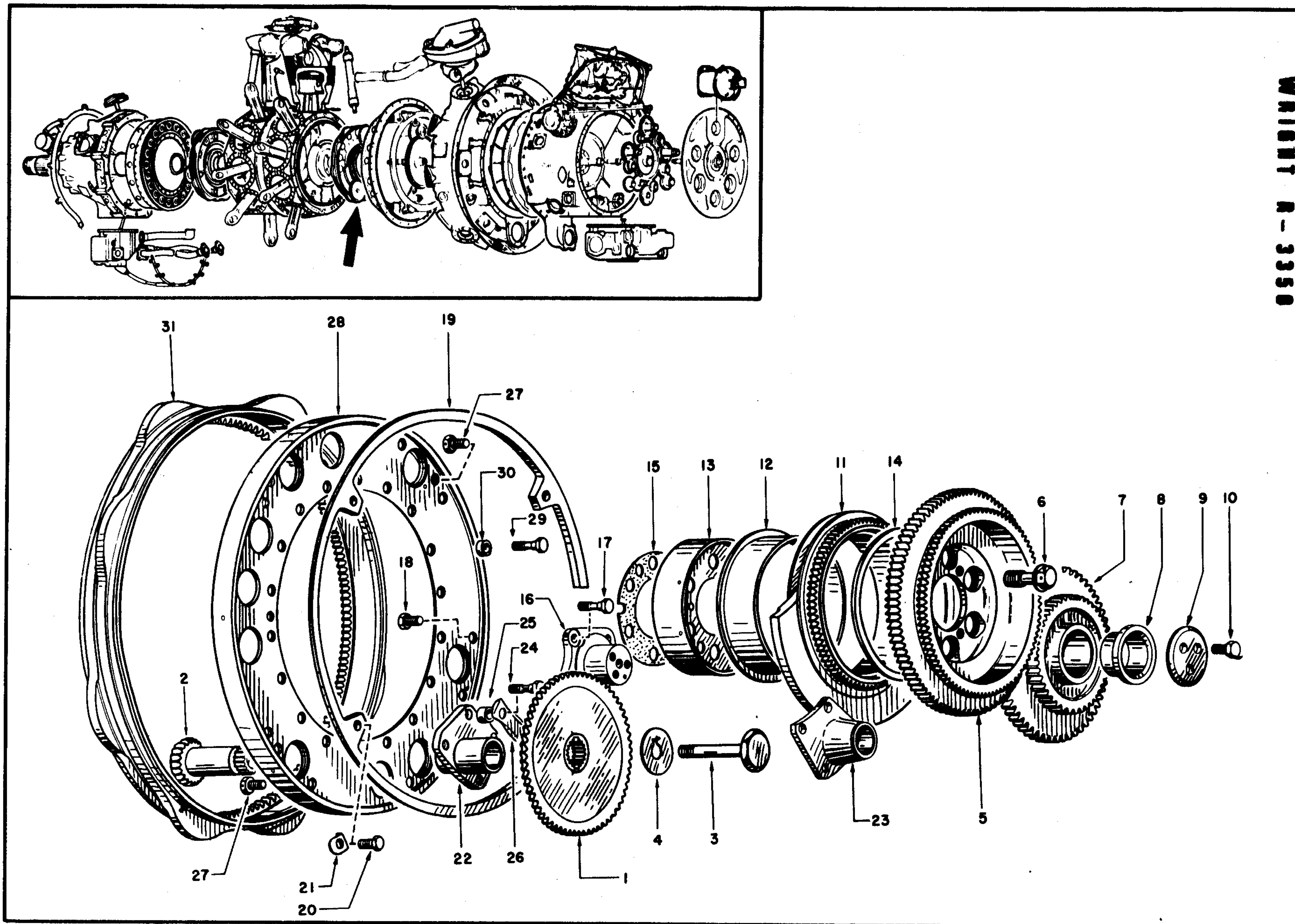


Figure 4 Rear Cam, Vibration Balancer and Drive

WRIGHT R-3350

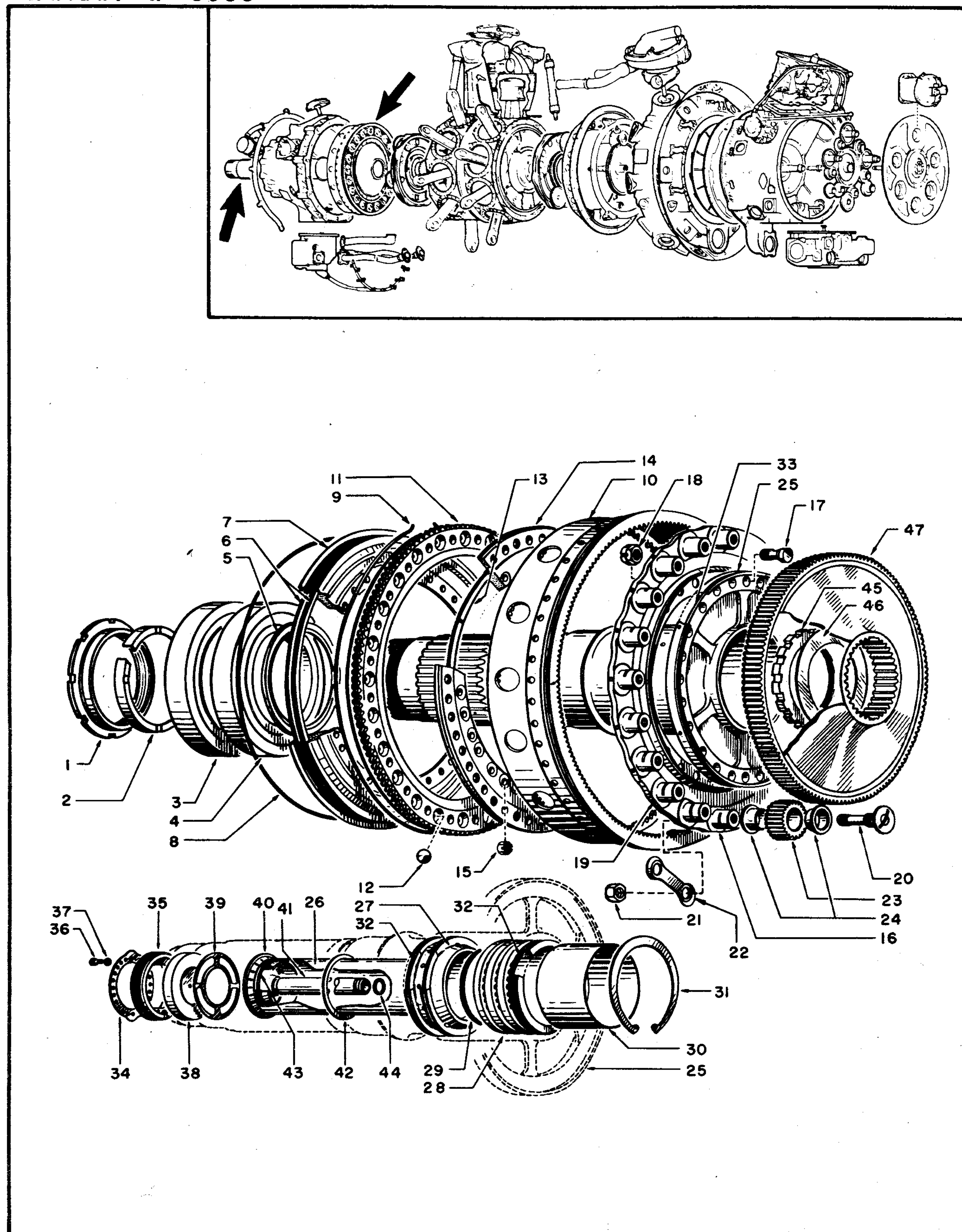


Figure 5 Propeller Shaft and Reduction Gearing

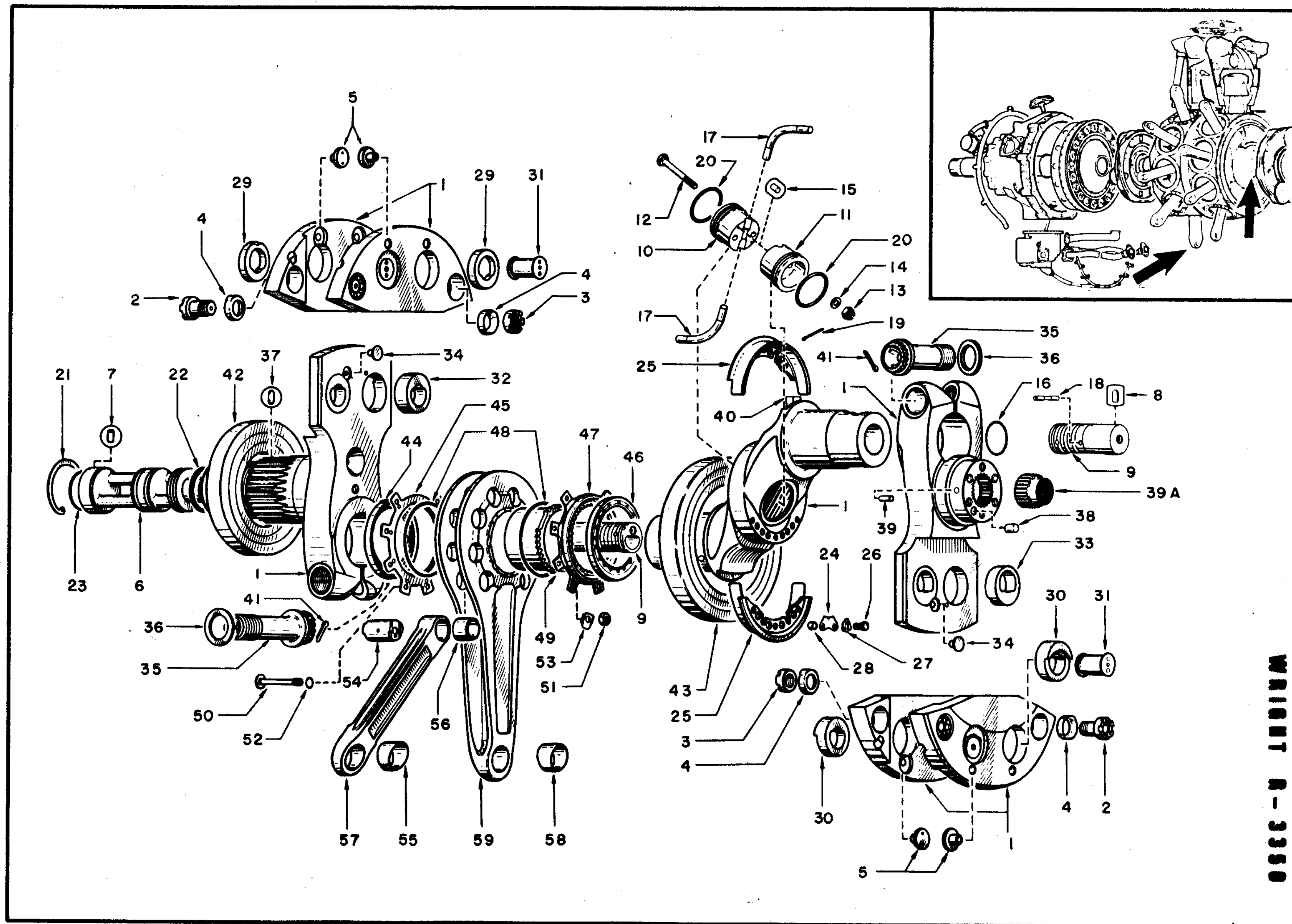


Figure 6 Crankshaft and Connecting Rods

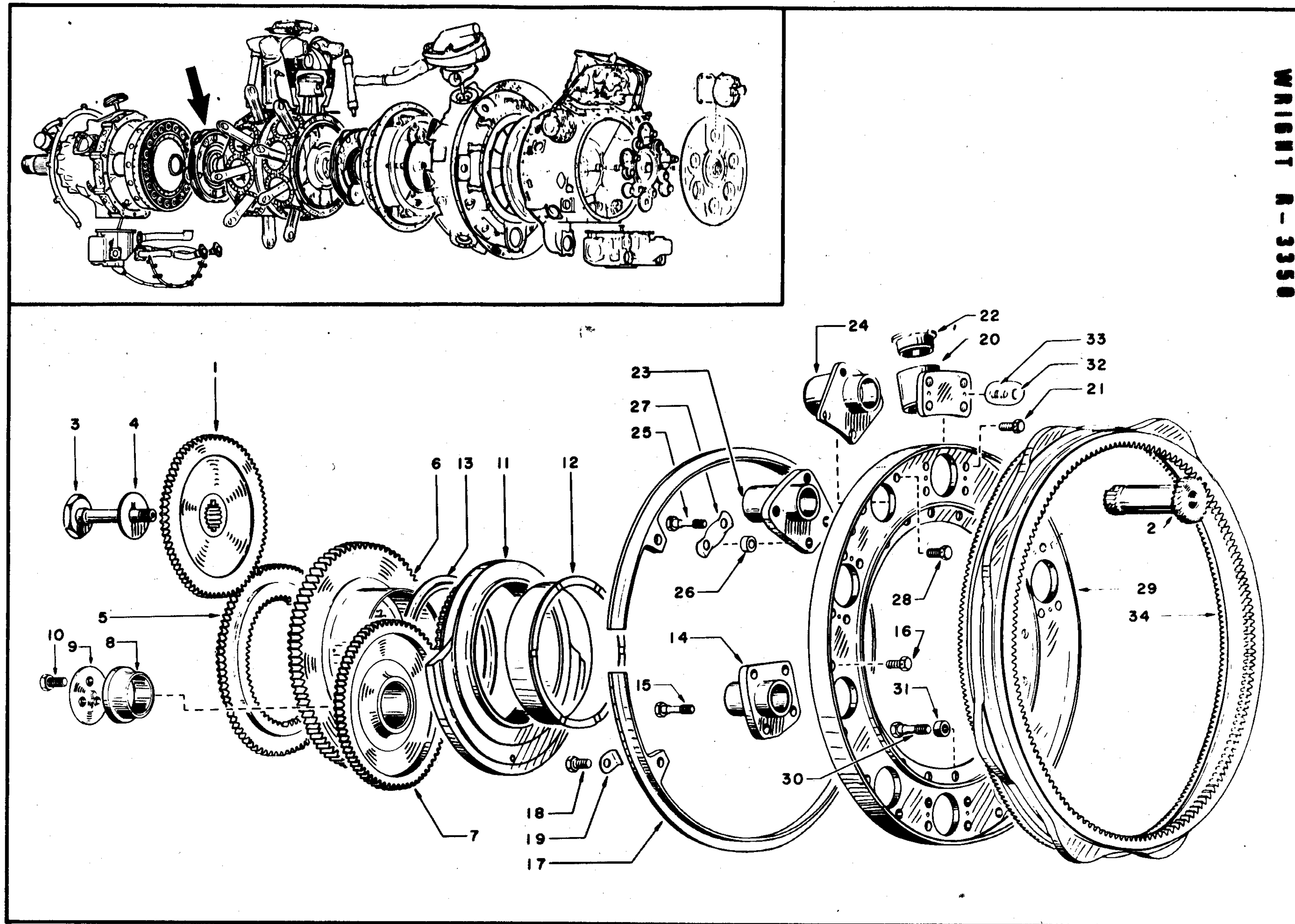


Figure 7 Front Cam, Vibration Balancer and Drive

WRIGHT R-3350

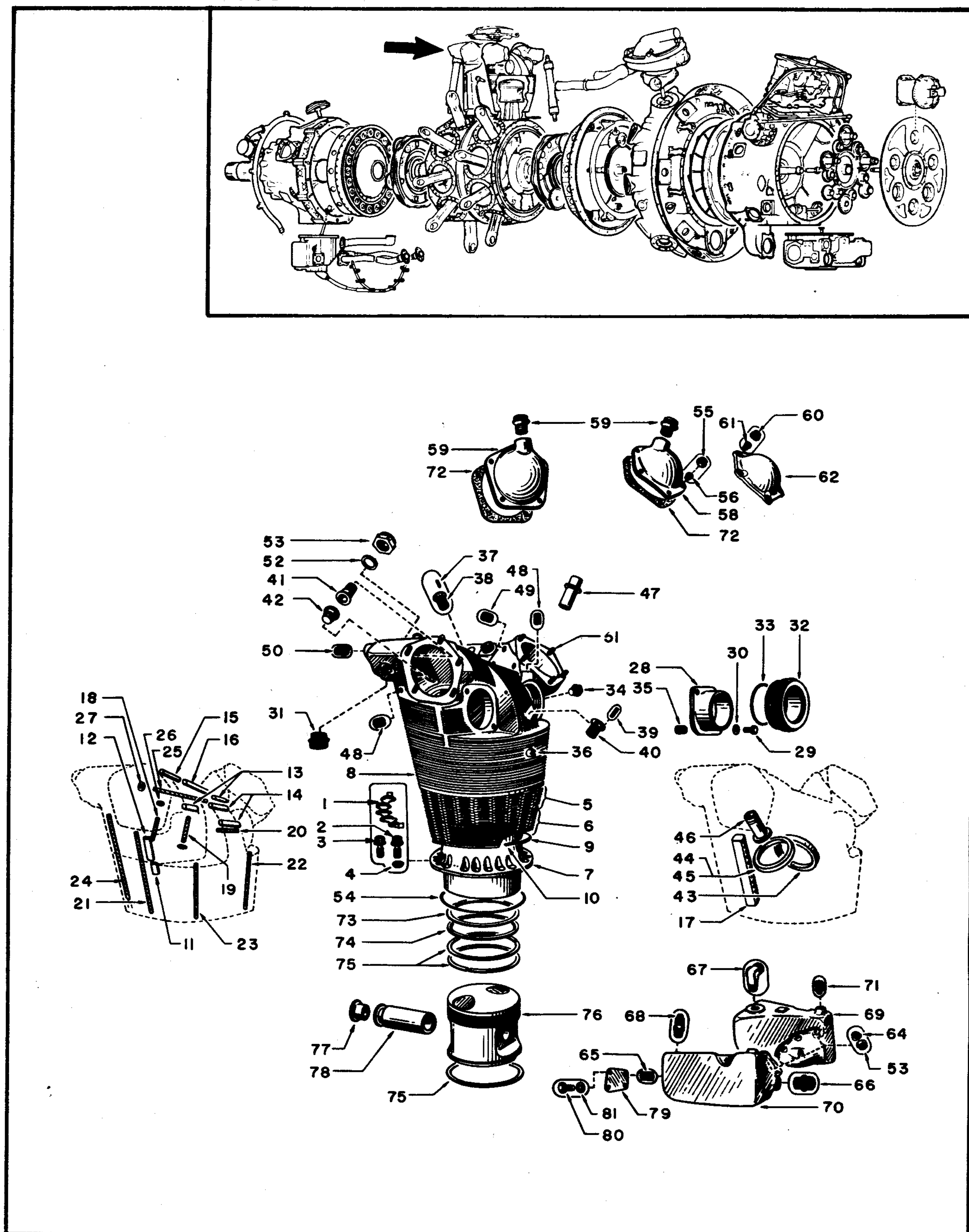


Figure 8 Front Cylinders and Pistons

Figure 9 Rear Cylinders and Pistons

WRIGHT R-3350

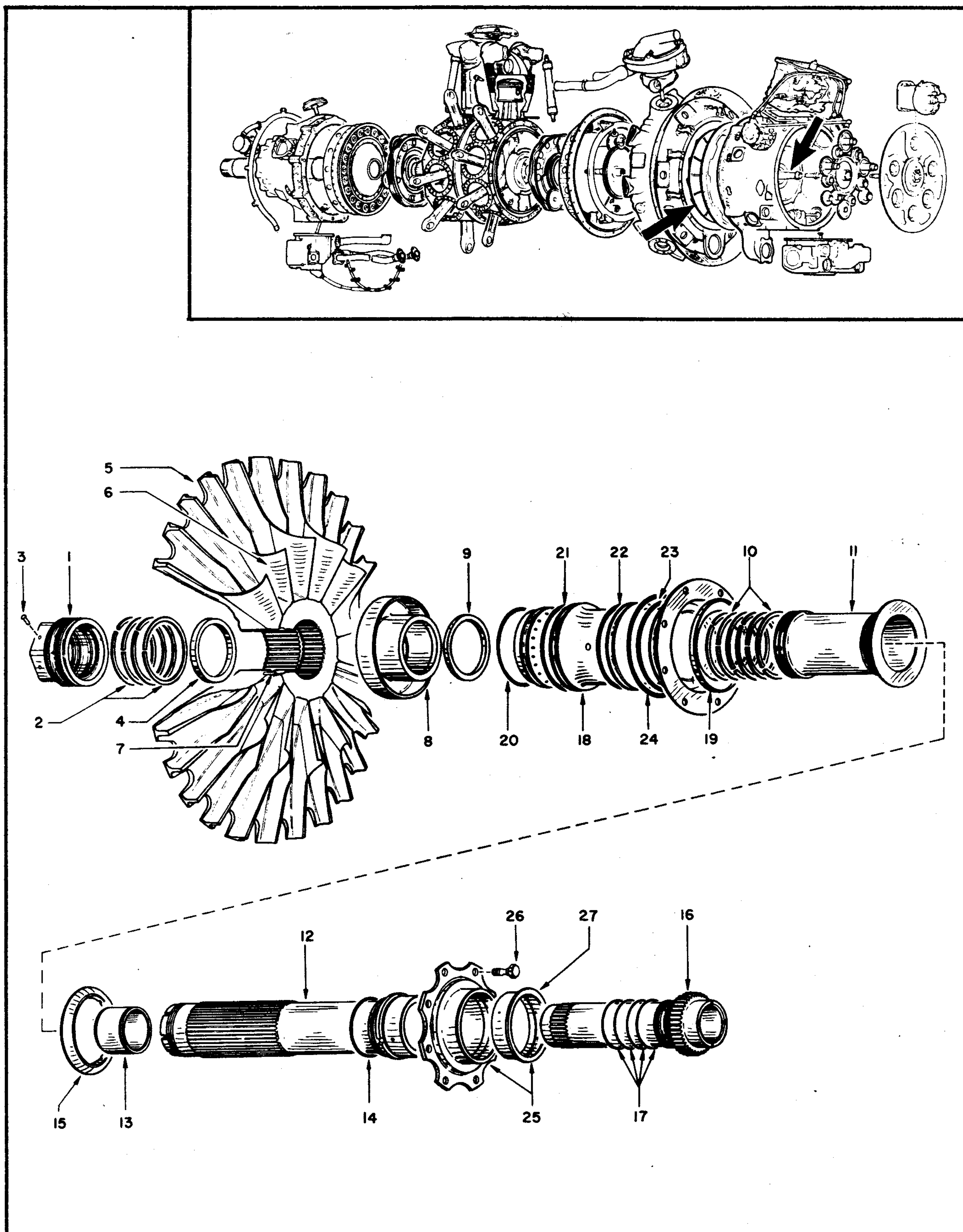


Figure 10 Impeller and Impeller Shaft

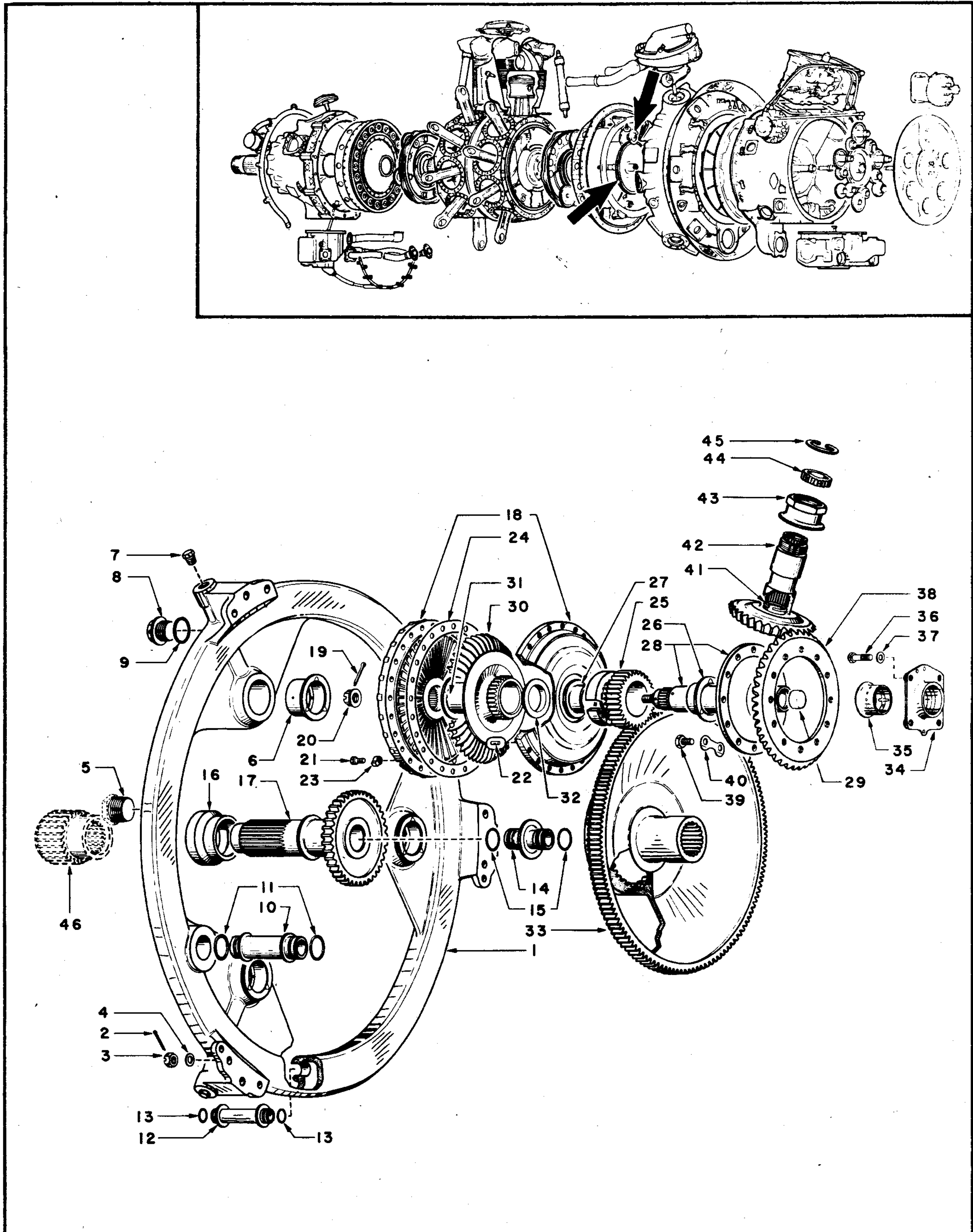


Figure 11 Power Recovery Turbine Crankshaft Drive

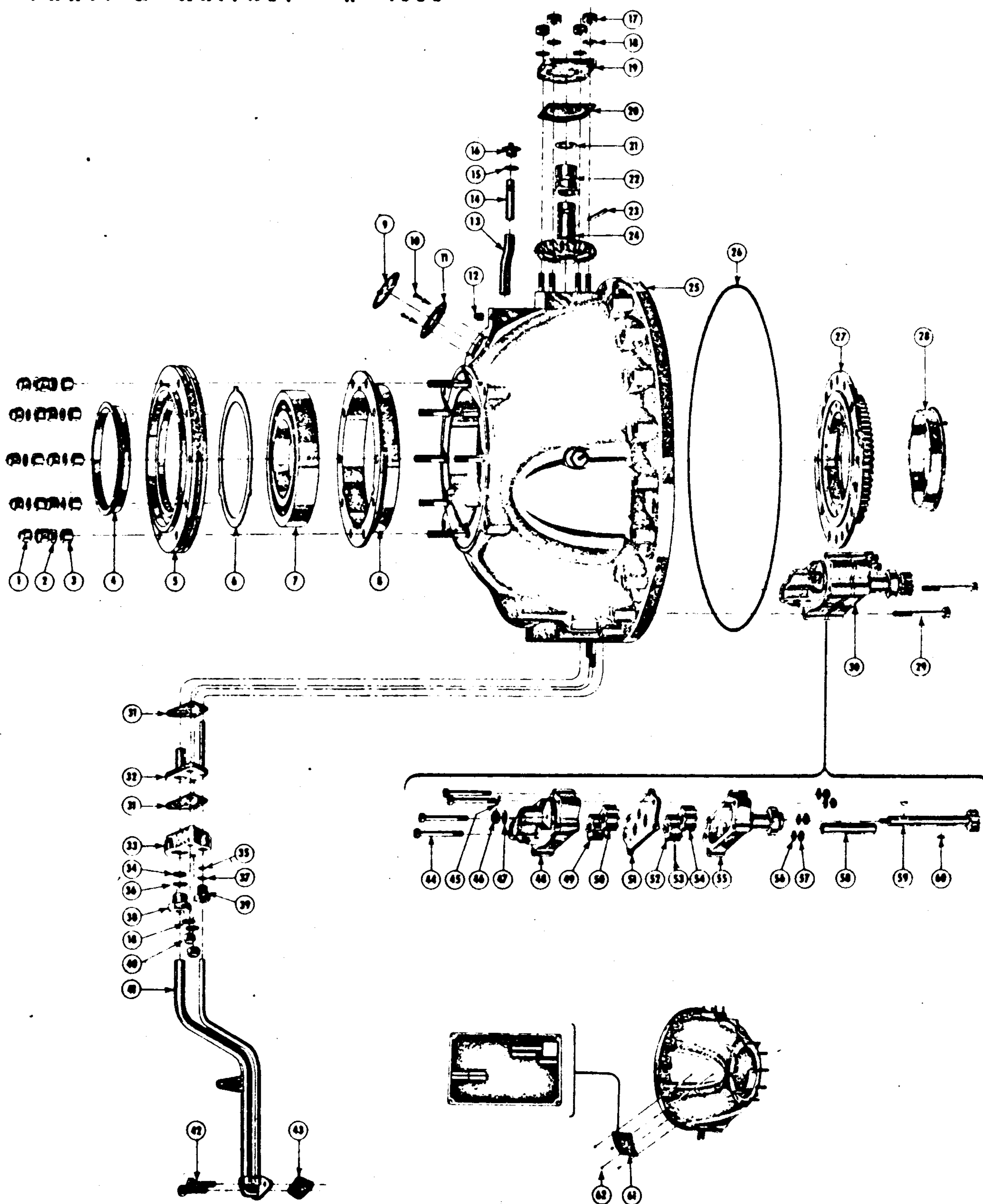


Fig. 1.— CARTER RÉDUCTEUR

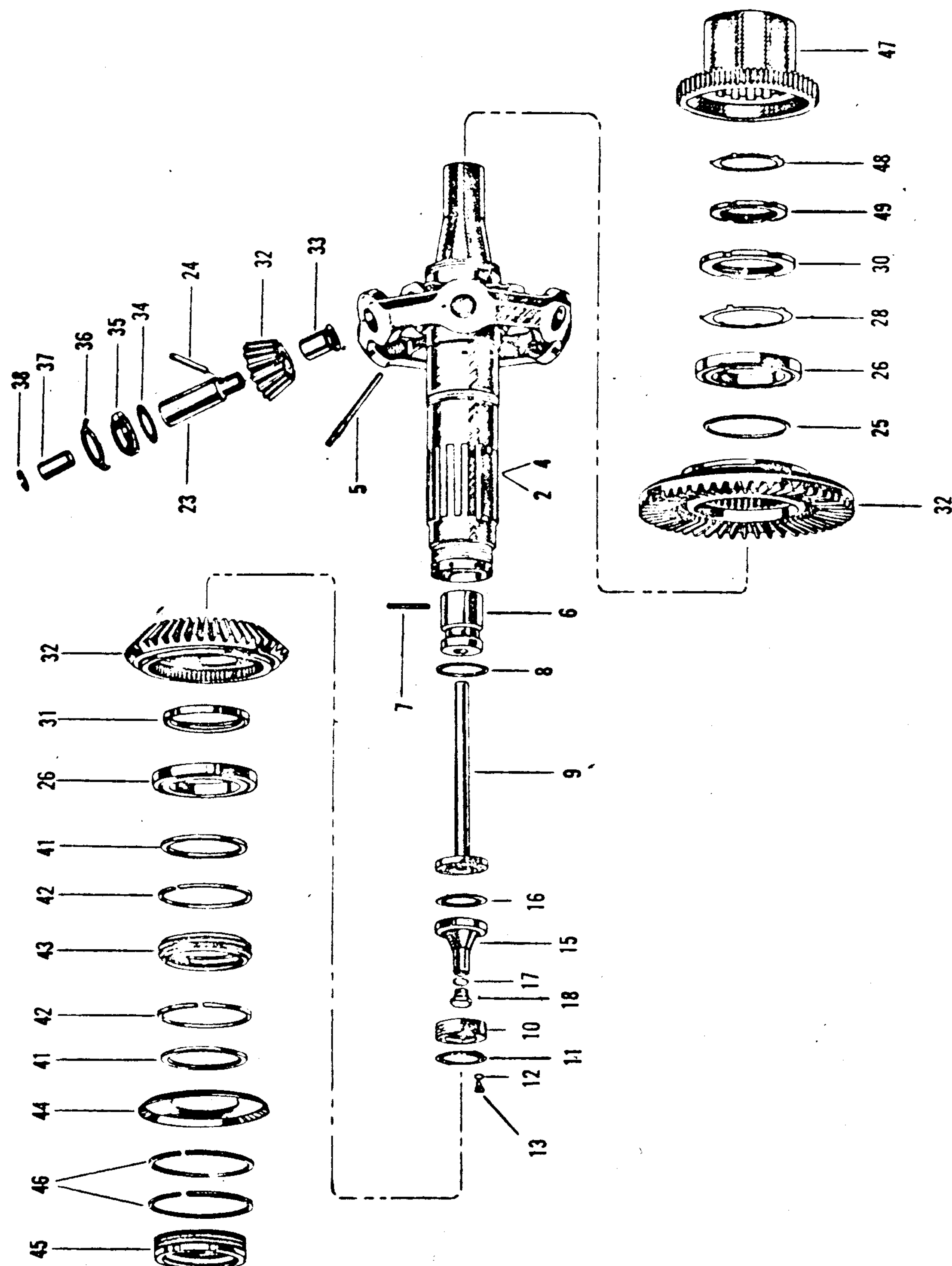


Fig. 2 — ENGRENAGES RÉDUCTEUR SC3G

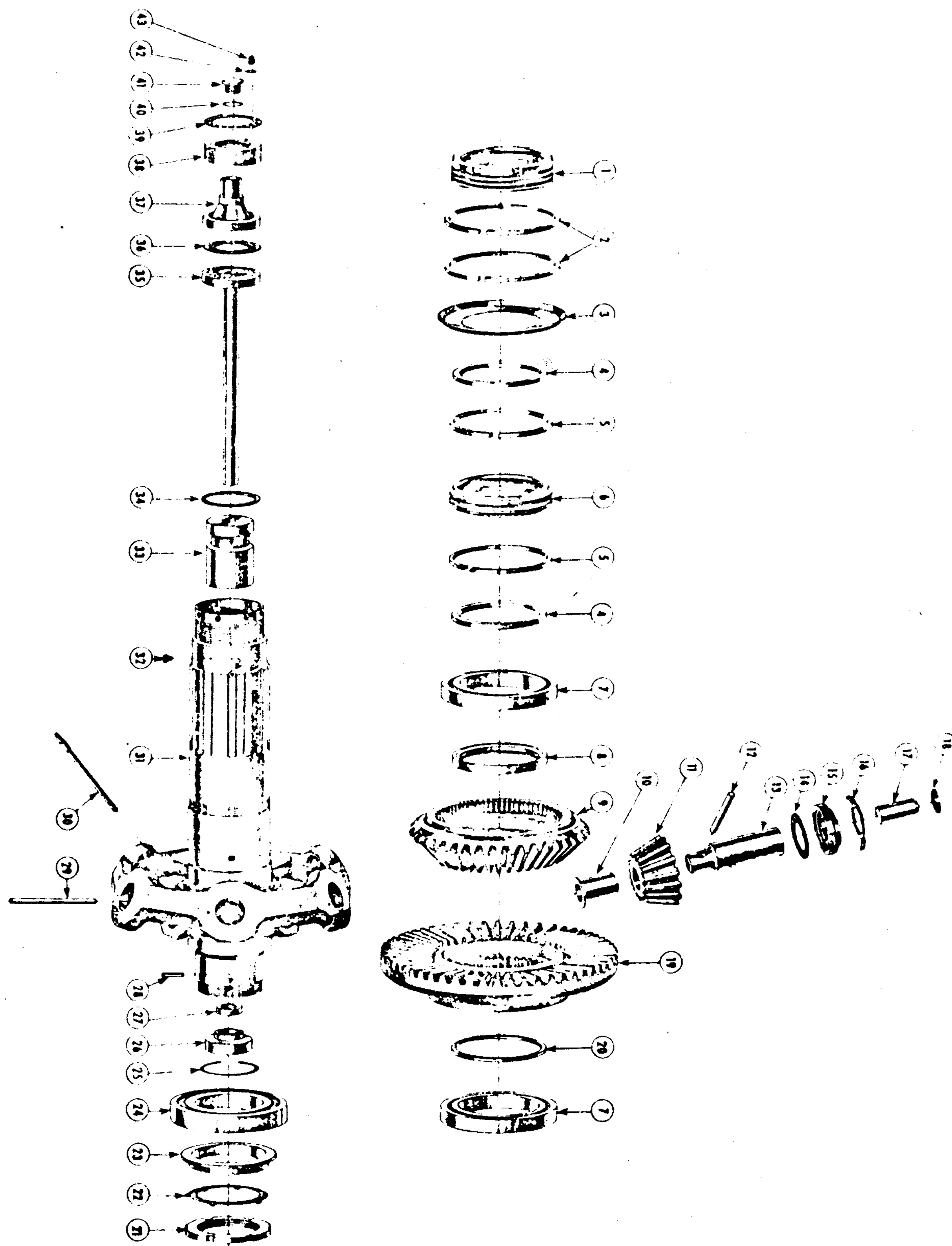


Fig. 3 — ENGRENAGES RÉDUCTEUR 92

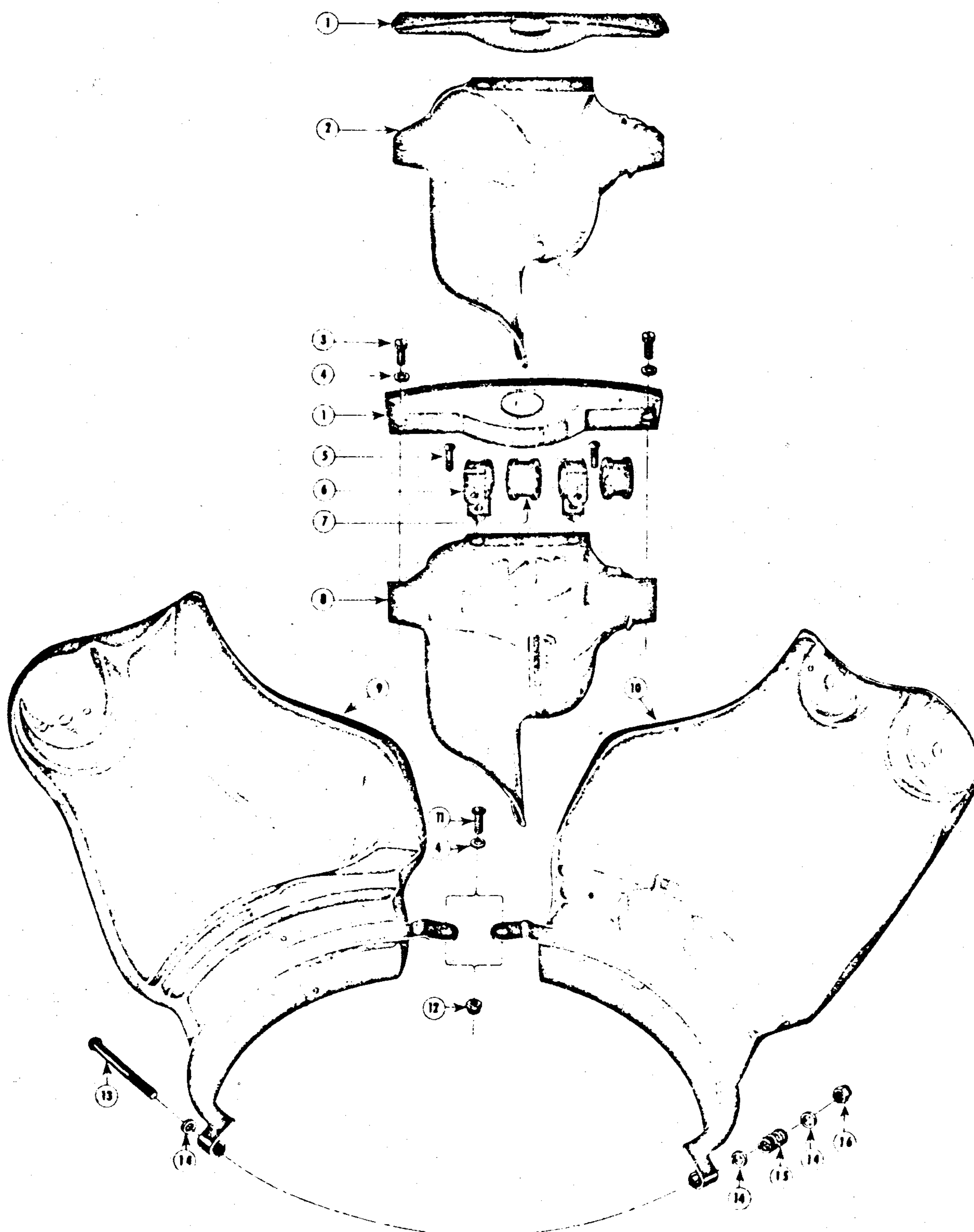


Fig. 4 — DÉFLECTEURS DE CYLINDRES

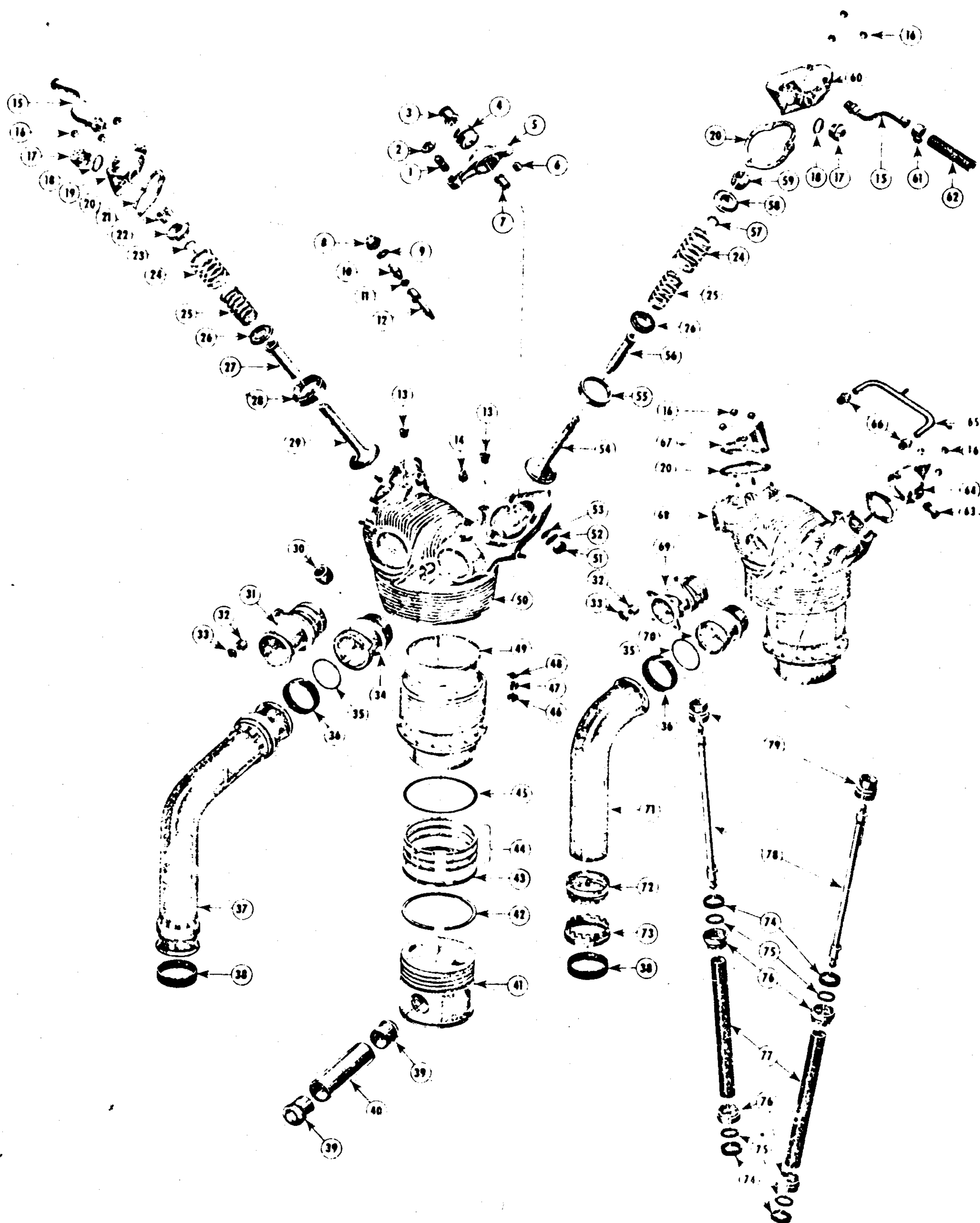


Fig. 5 — CYLINDRES

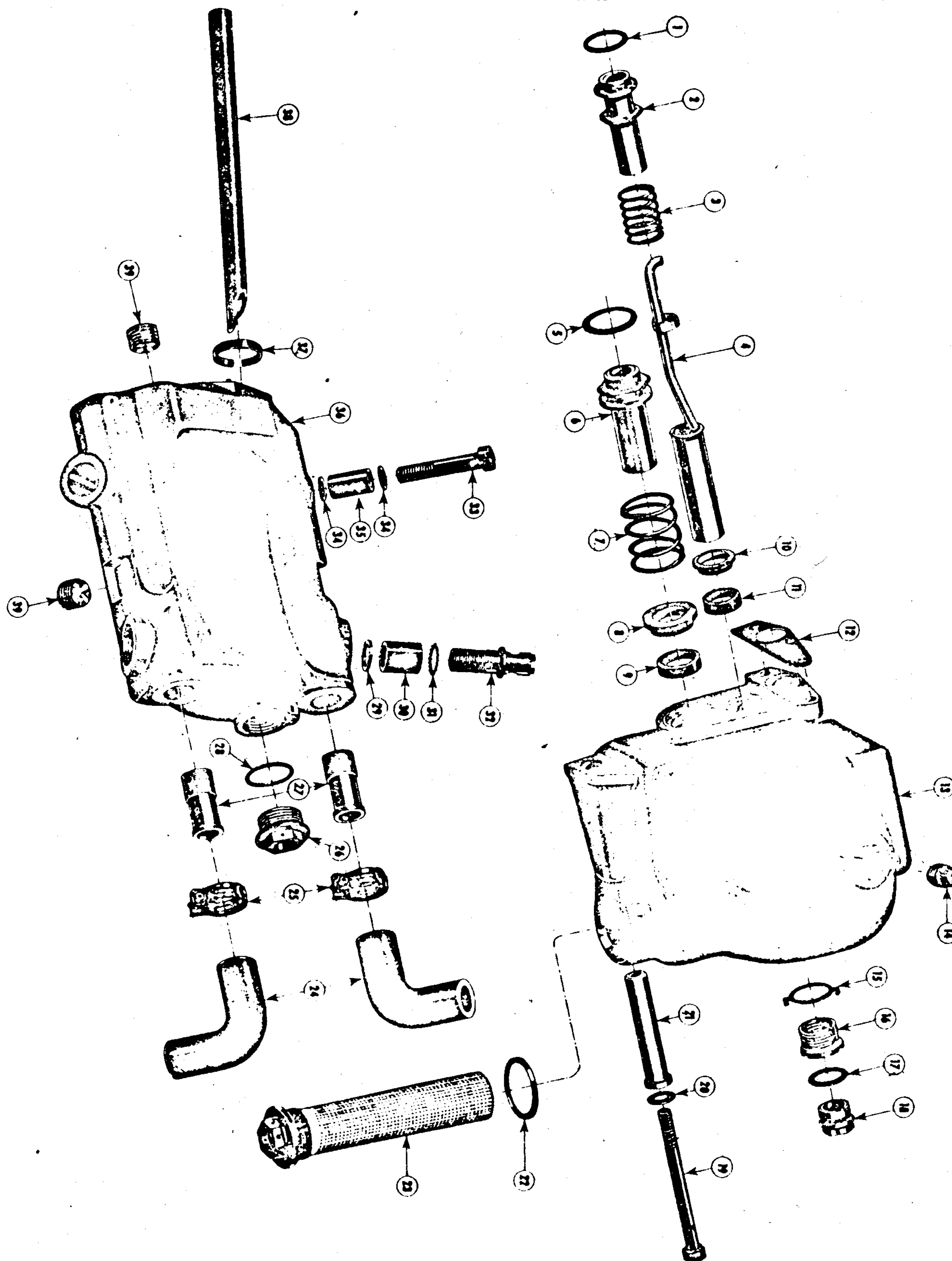


Fig. 6 — PUISARDS D'HUILE

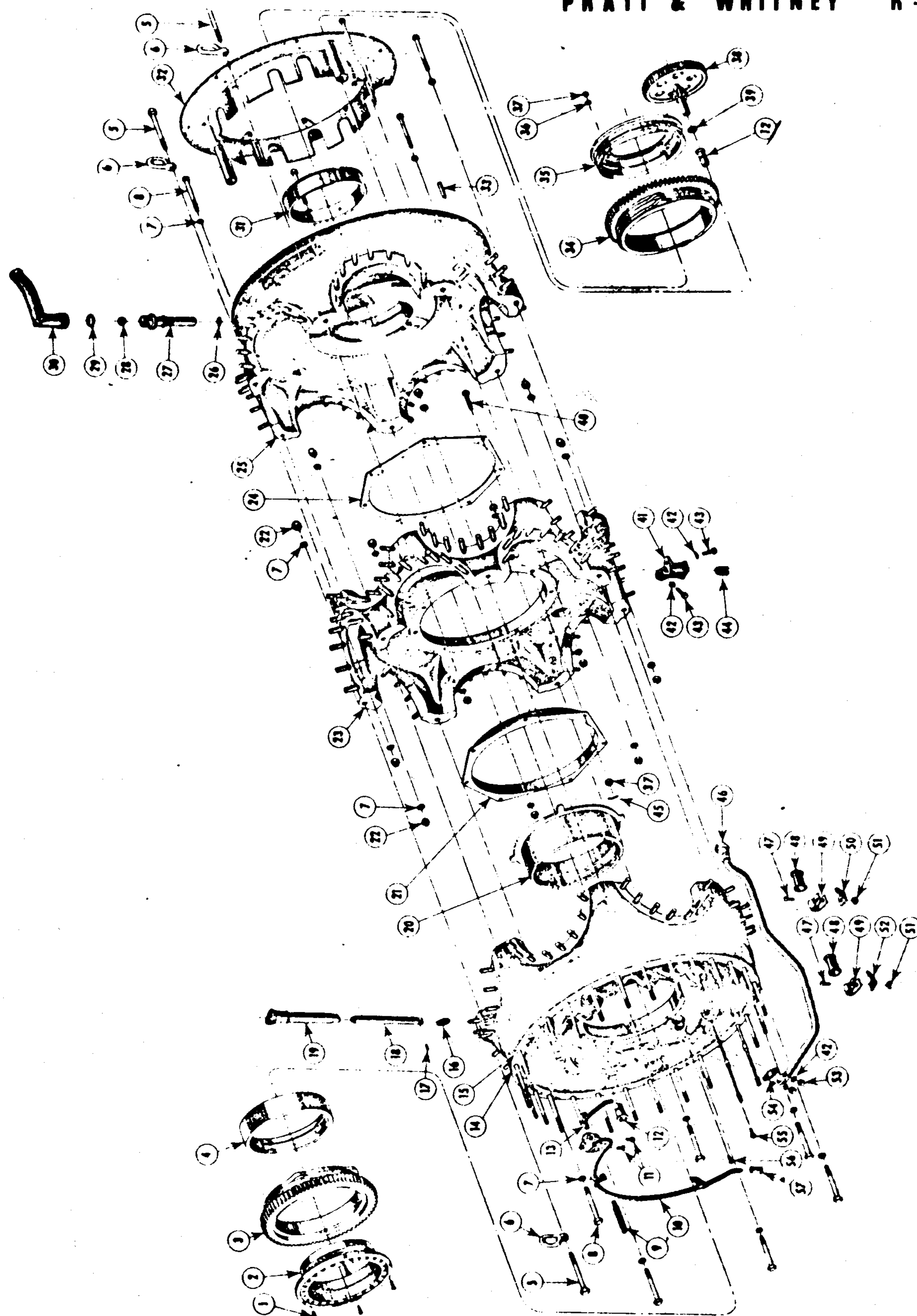


Fig. 7 — CARTERS

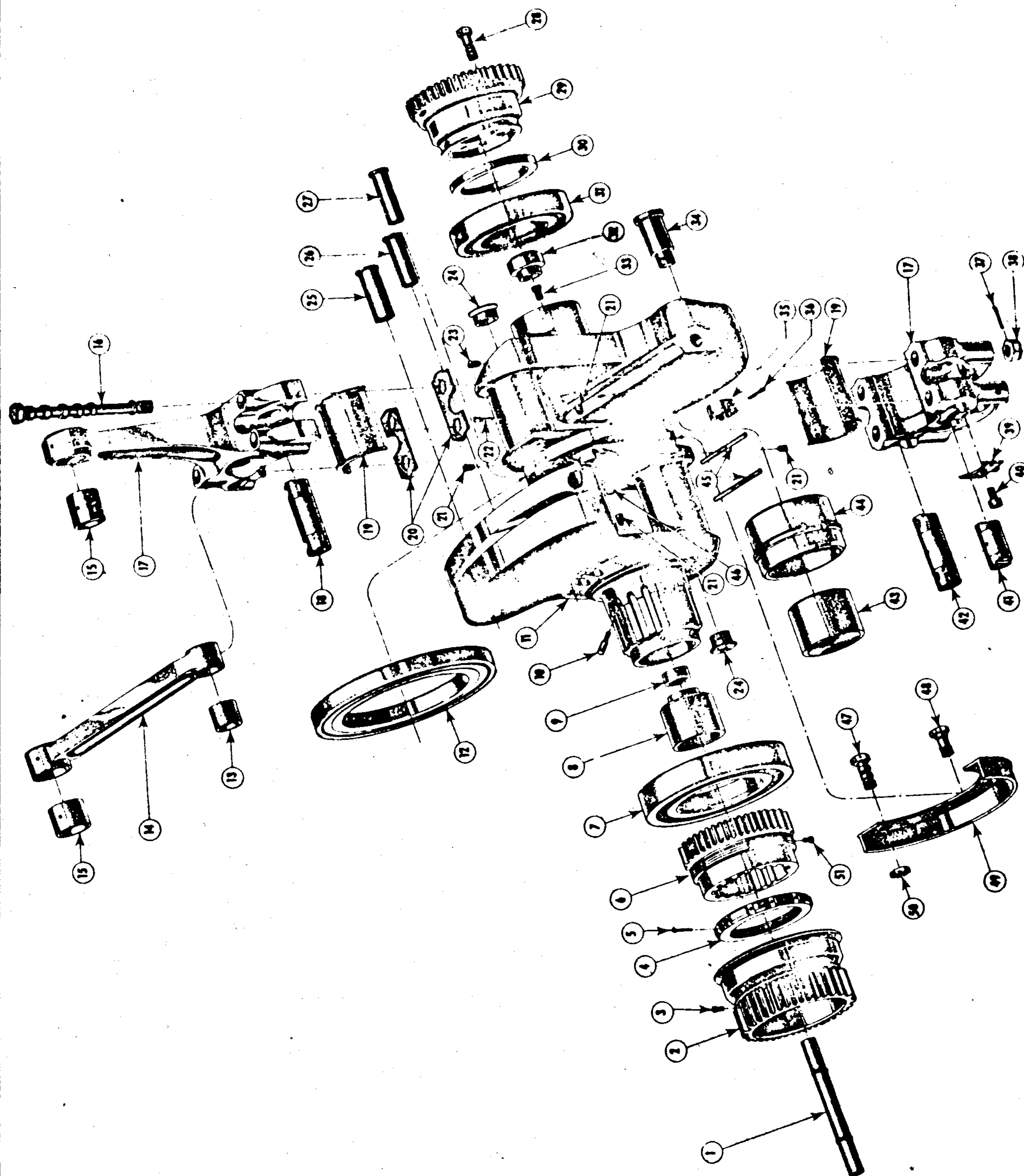


Fig. 8 — VILEBREQUIN

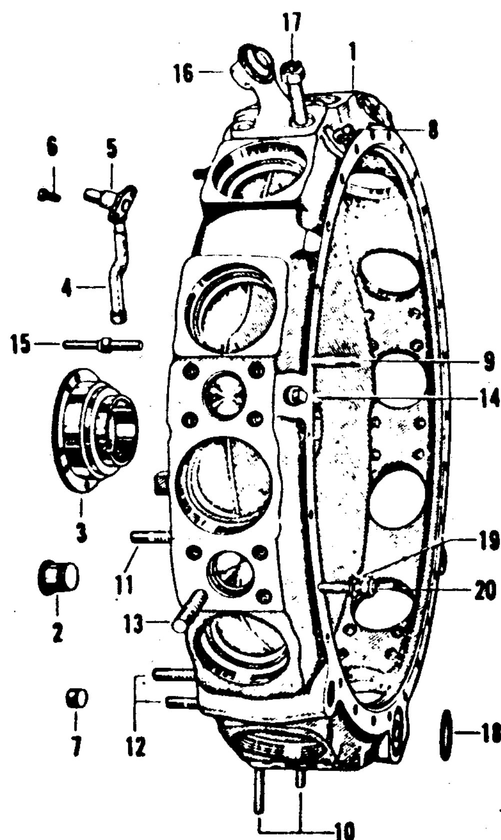


Fig. 9 — CARTER DE COMPRESSEUR

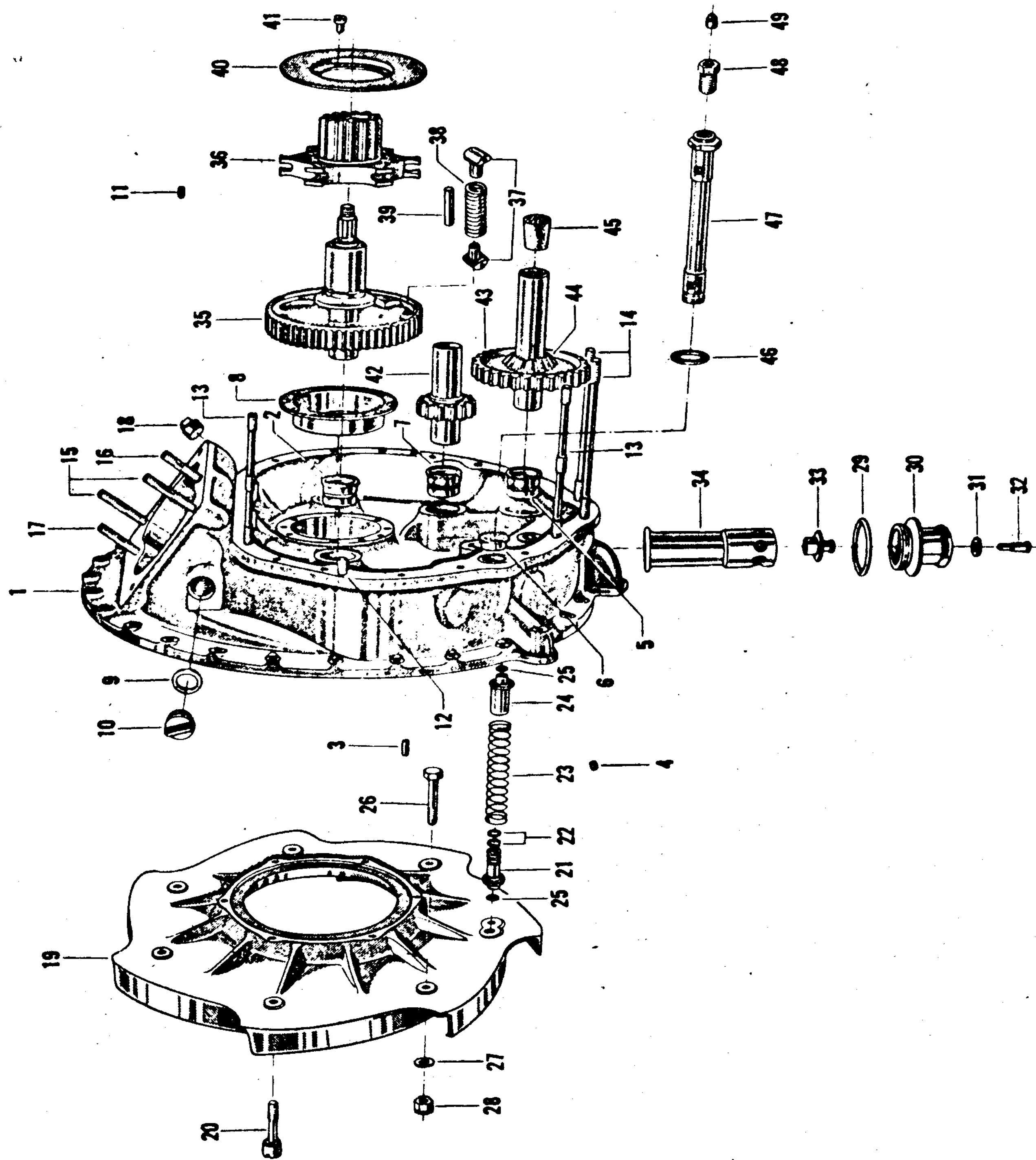


Fig. 10 — CARTER INTERMÉDIAIRE DE COMPRESSEUR

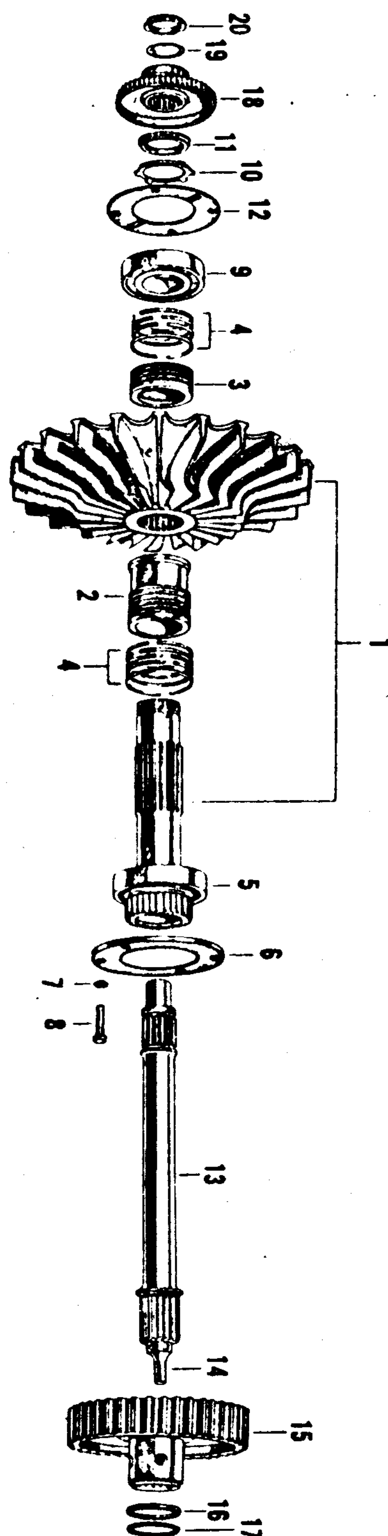


Fig. 11 — ROUE ET ARBRE DE COMPRESSEUR

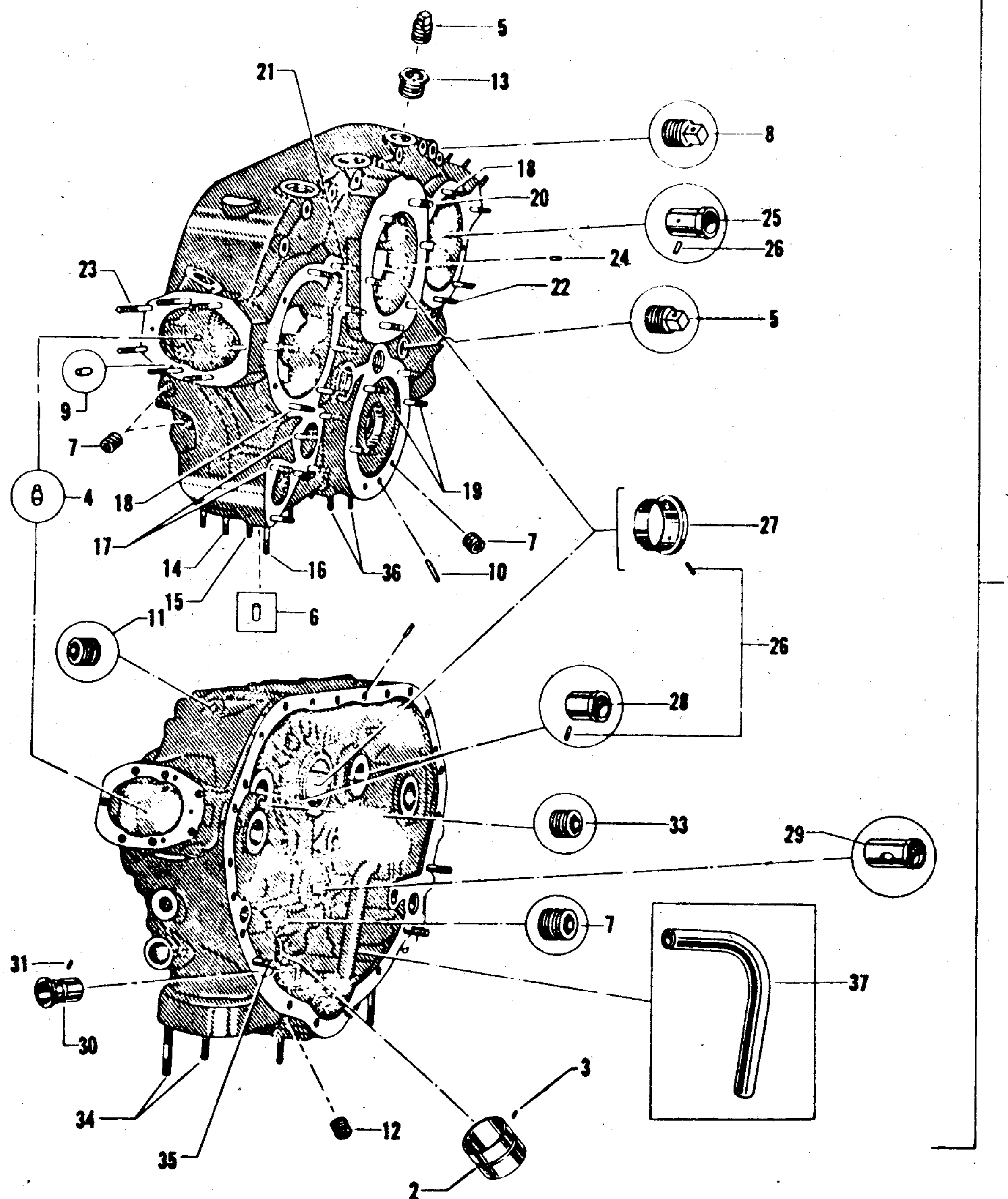


Fig. 12 — CARTER ARRIÈRE

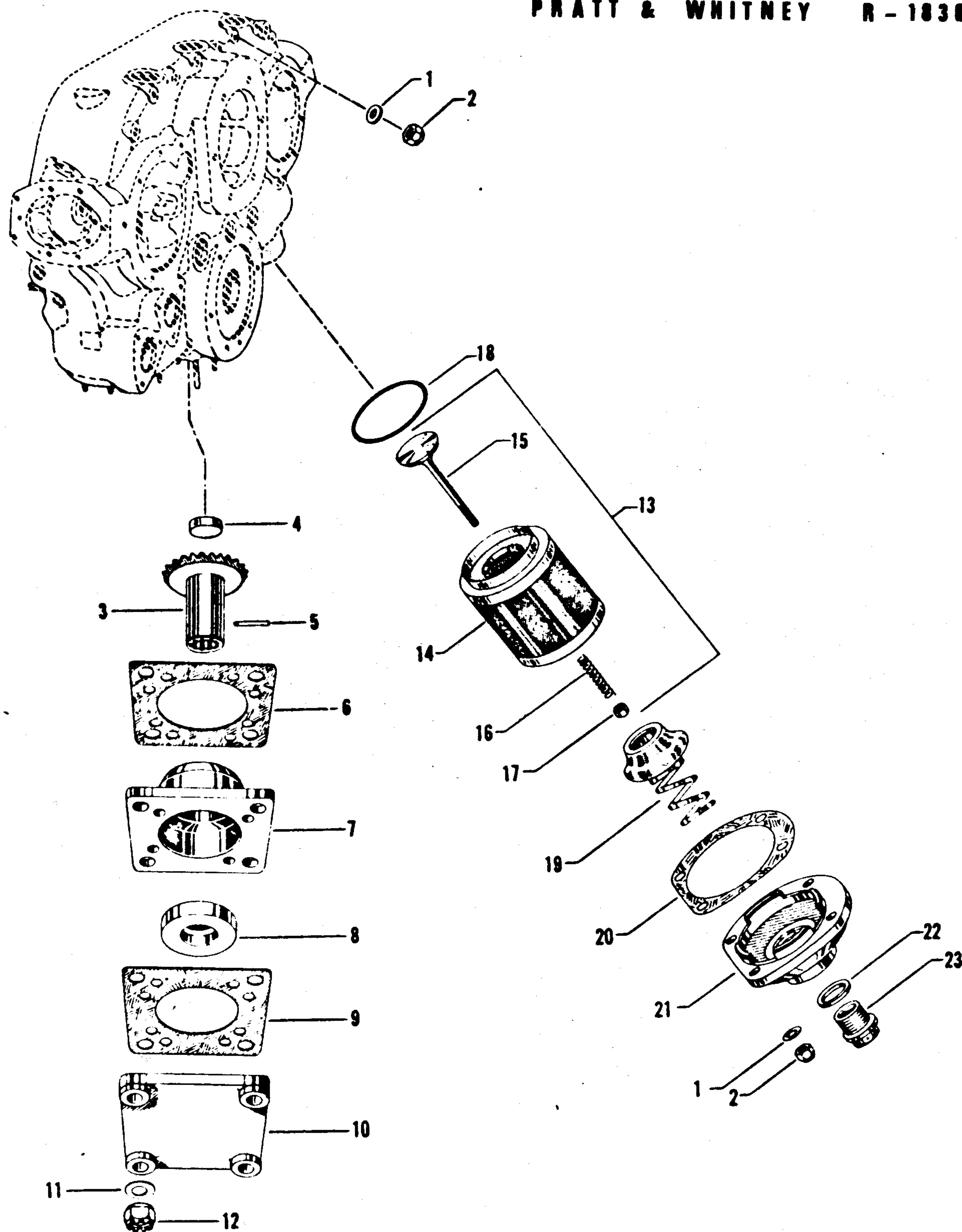


Fig. 13 — COMMANDES DE POMPE A VIDE ET FILTRE D'HUILE

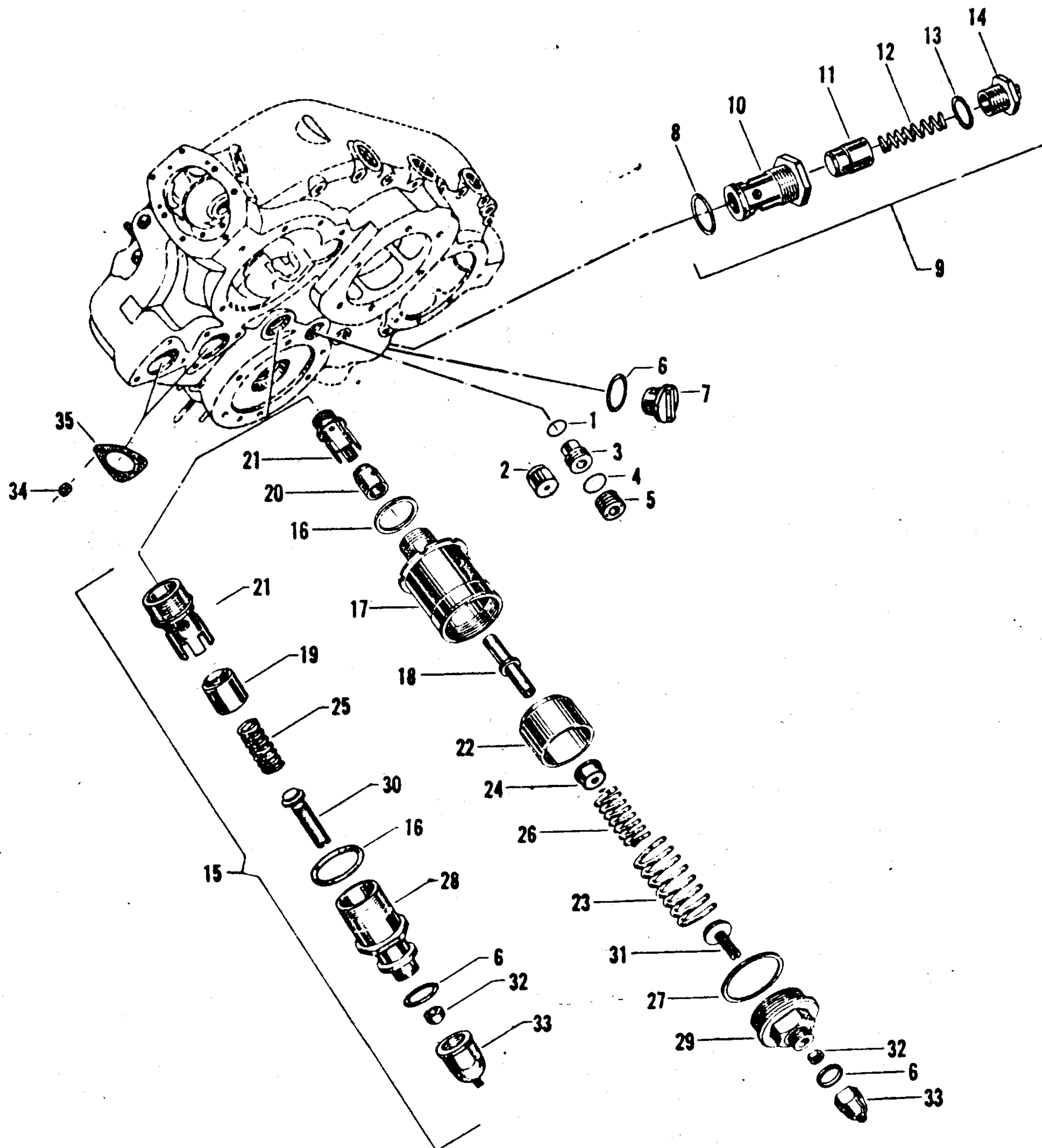


Fig. 14 — CLAPETS DE DÉCHARGE

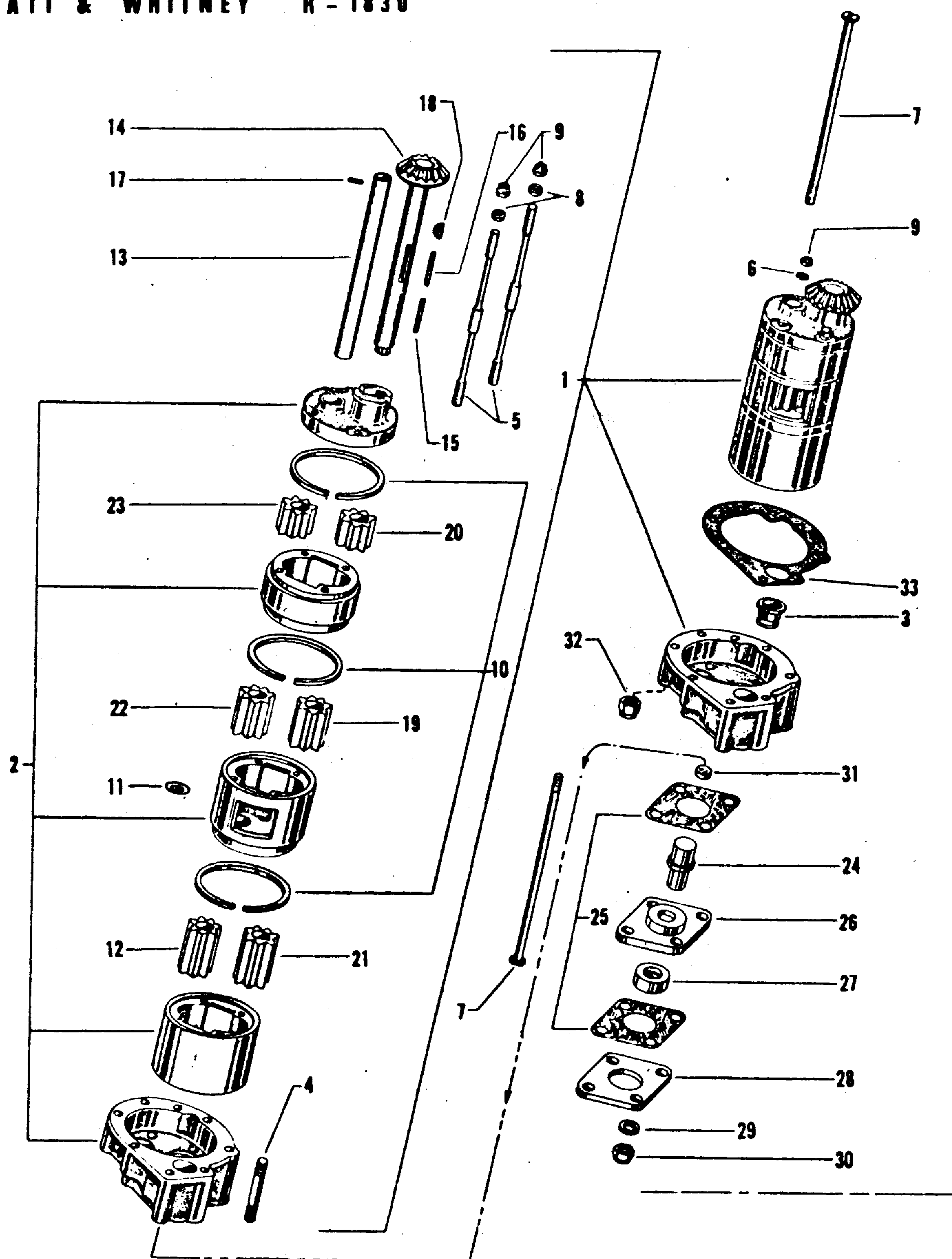


FIG. 15 — POMPES A HUILE ARRIÈRE

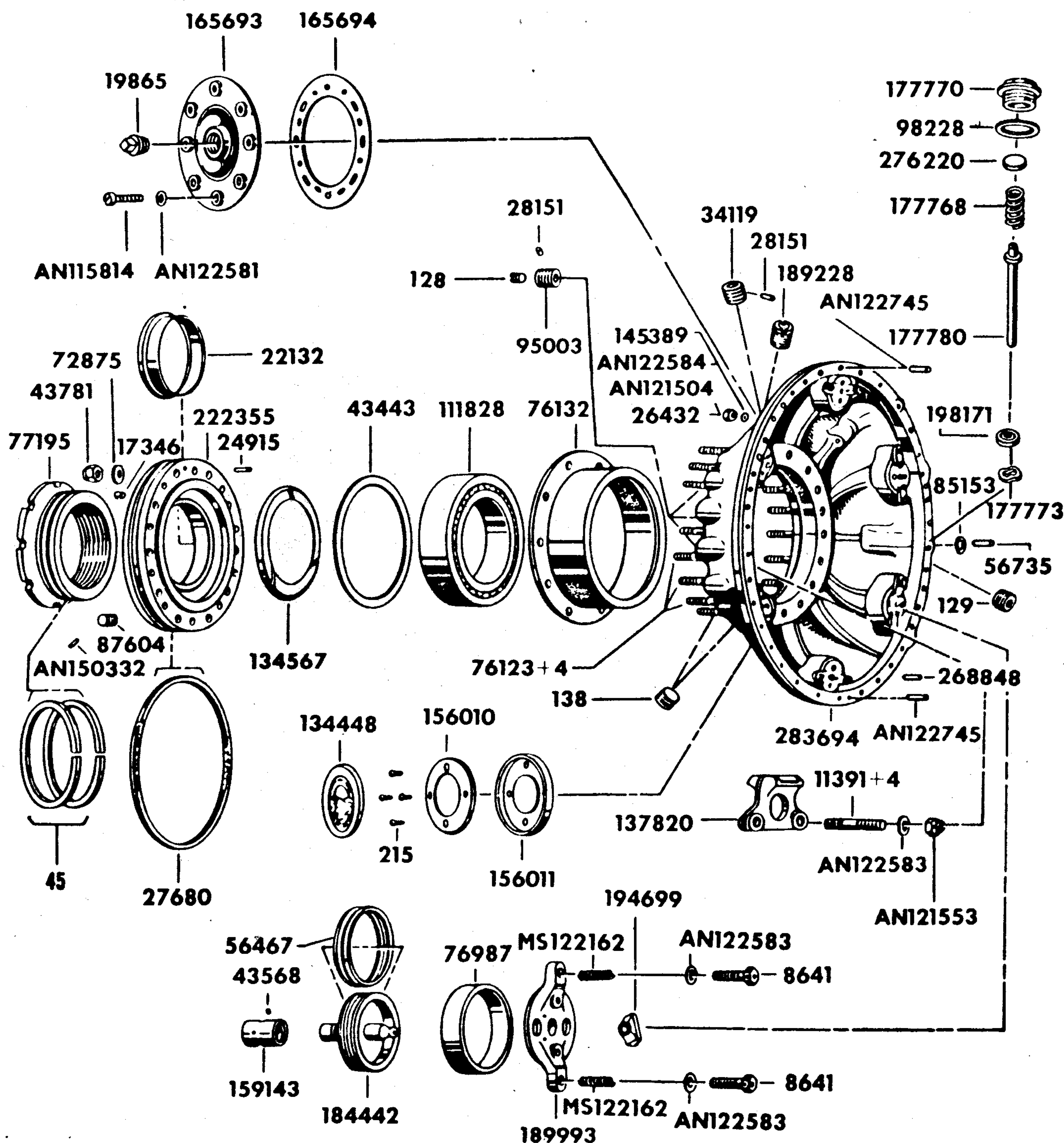


Figure 1 — *Front Case*

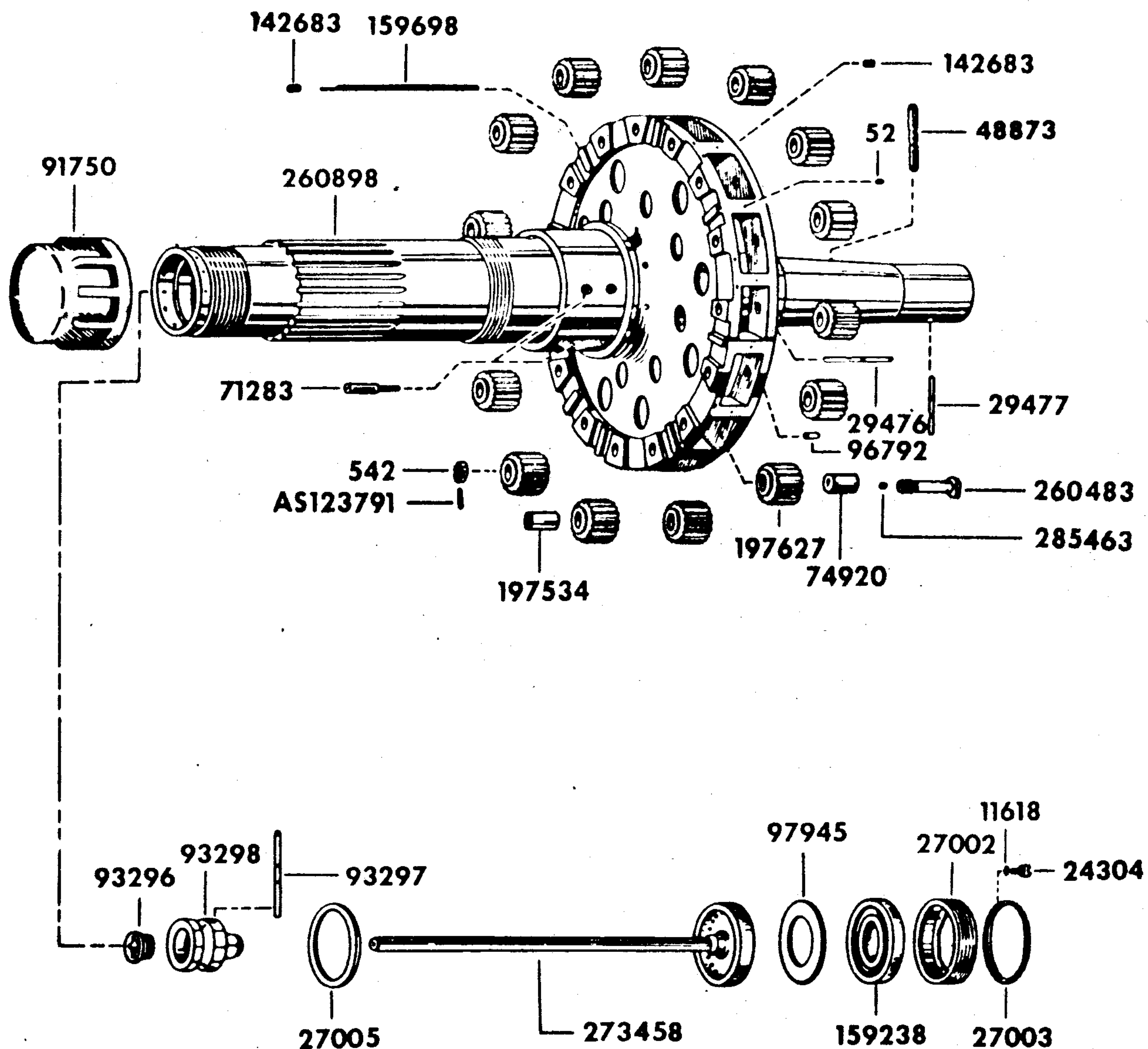


Figure 2 — Propeller Shaft and Reduction Pinions

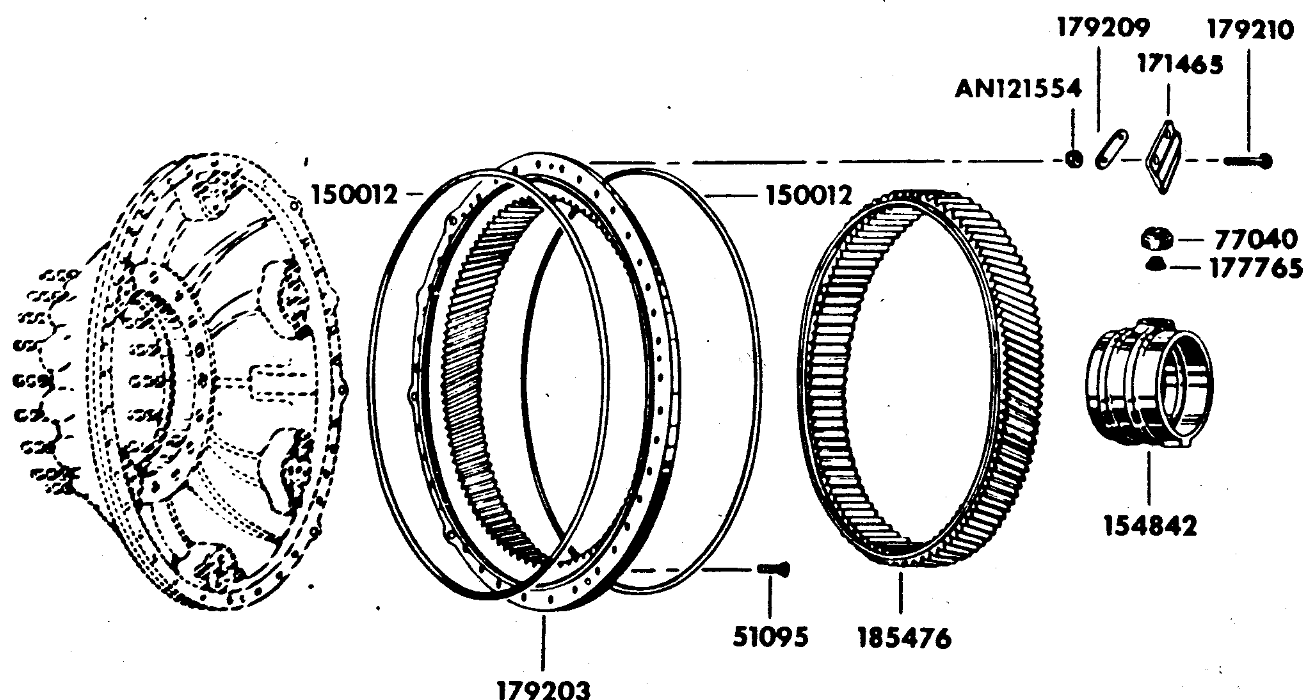


Figure 3 — Fixed Gear and Support

PROPELLER SHAFT AND REDUCTION PINIONS

Figure Number	Part Number	Nomenclature 1 2 3 4 5 6 7	Units Per Assy
3	27003	Lockwasher — 3⅙ ID x 3²¹⁄₃₂ OD x ⅓₂ in. thick (propeller shaft front support nut)	1
3	11618	Washer — Plain .203 ID x .375 OD x .0315 in. thick (propeller shaft front support nut screw)	3
3	24304	Screw — Fillister head drilled .190-32 NF thd x .250 in. long (propeller shaft front support nut; *use No. AS 100029 wire)*	3

FIXED GEAR AND SUPPORT

Figure Number	Part Number	Nomenclature 1 2 3 4 5 6 7	Units Per Assy
4	150012	Seal — 17.000 ID x .092 in. dia Round (front case to reduction fixed gear support; *supersedes No. 24118)*	1
4	179203	Support — Reduction fixed gear (replaces No. 85436)	1
4	150012	Seal — 17.000 ID x .092 in. dia Round (reduction fixed gear support to front accessory housing; *supersedes No. 24118)*	1
4	51095	Screw — Flat head .250-20 thd x 1.000 in. long (reduction fixed gear support to front case)	3
4	185476	Gear — Reduction fixed (replaces No. 82334)	1
4	171465	Plate — Reduction fixed gear retainer *(supersedes No. 93926)*	6
4	179210	Bolt — Drilled .375-24 thd x 2.090 in. long Special (reduction gear retainer to reduction fixed gear support; for use with engines having Part No. 179209 plate)	12
4	179209	Plate — 2.170 x .690 x .093 in. thick (reduction fixed gear retainer bolt; for use with engines having Part No. 179210 bolt)	6
	91457	Bolt — Square head .375-24 thd x 2.060 in. long (reduction fixed gear retainer to reduction fixed gear support; for use with engines having Part No. 85436 support)	12

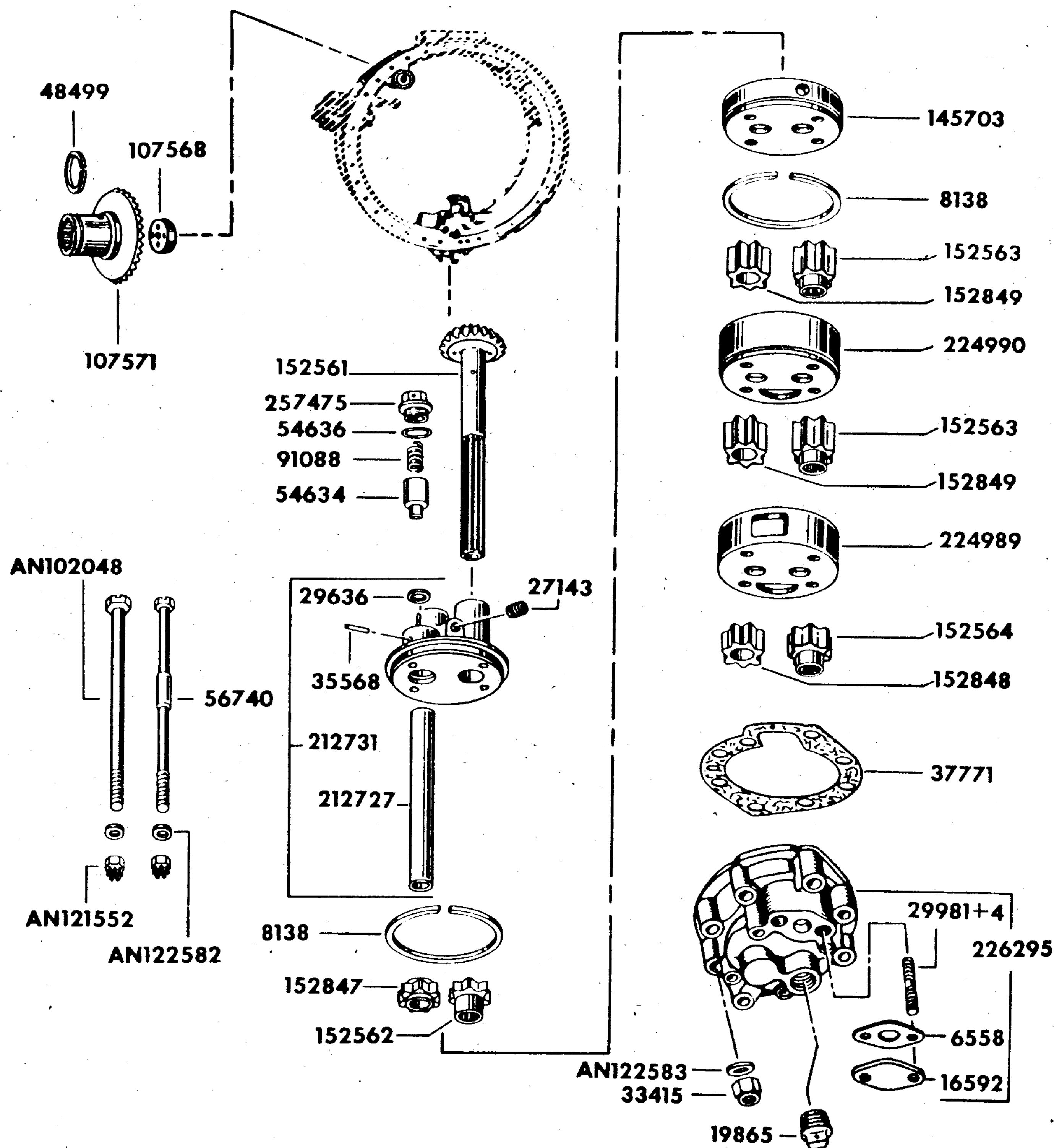


Figure 4 — Front Oil Pump and Distributor Driven Gear

27143
20545
48460
AN121553
57804
4229
37413
31286
AN122583
58
32954
48461
57805
41896
43568
28090
126537
48491
48470
48516
4229
28090
4229
48502
48488
4229
95303
27042
28090
4229
7916
95304
48479
637+4
58
100244
48807
37413
AN123792
100243

Figure 5 — Accessory Drive Support, Magneto Drive Gears, Distributor Drive Idlegear and Front Oil Pump Drive Gear. Spark Advance Stop and Front Cam Reduction Gear Lower.

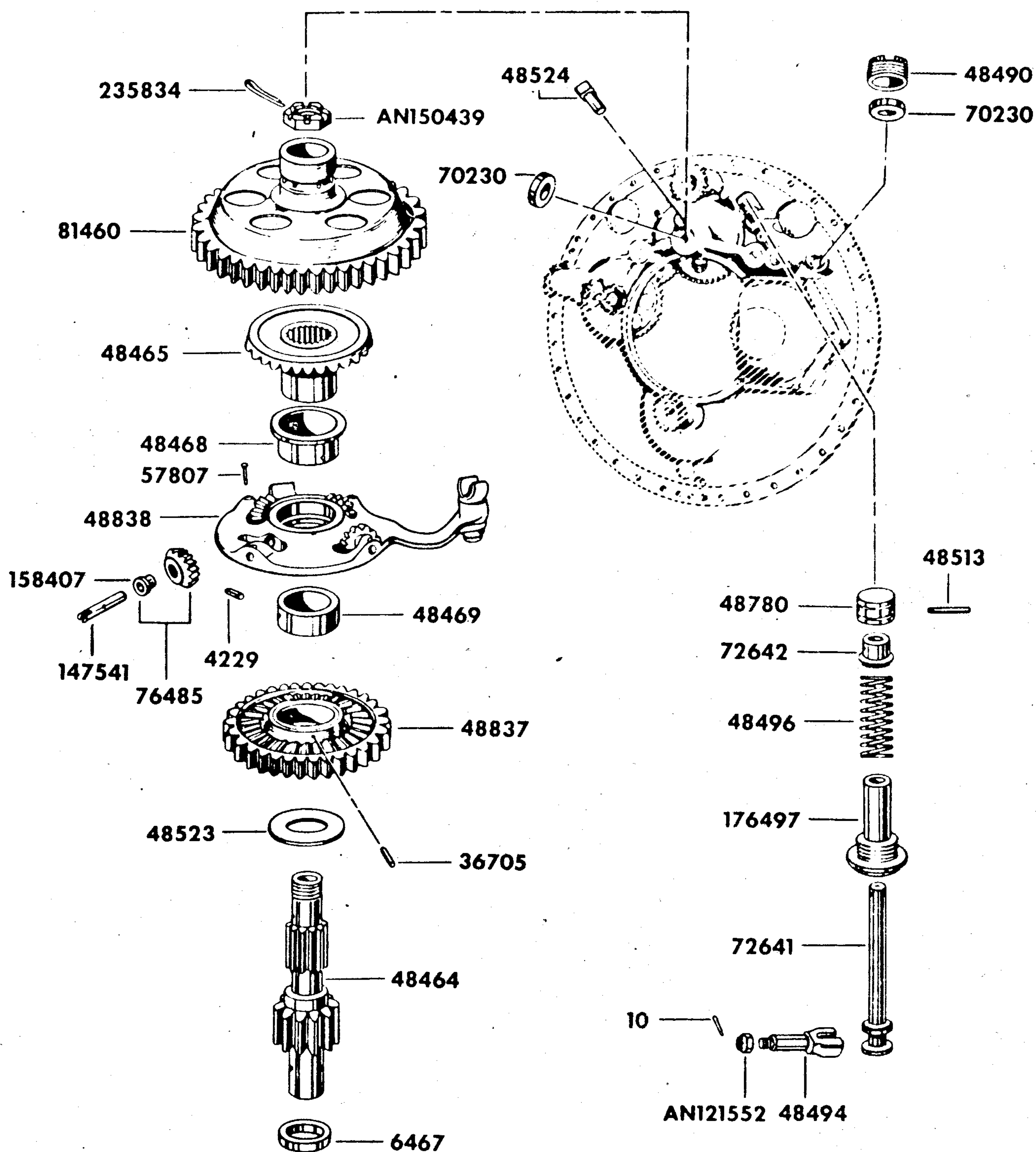


Figure 6 — Magneto Drive, Cam Reduction and Spark Advance Gears. Spark Advance Piston.

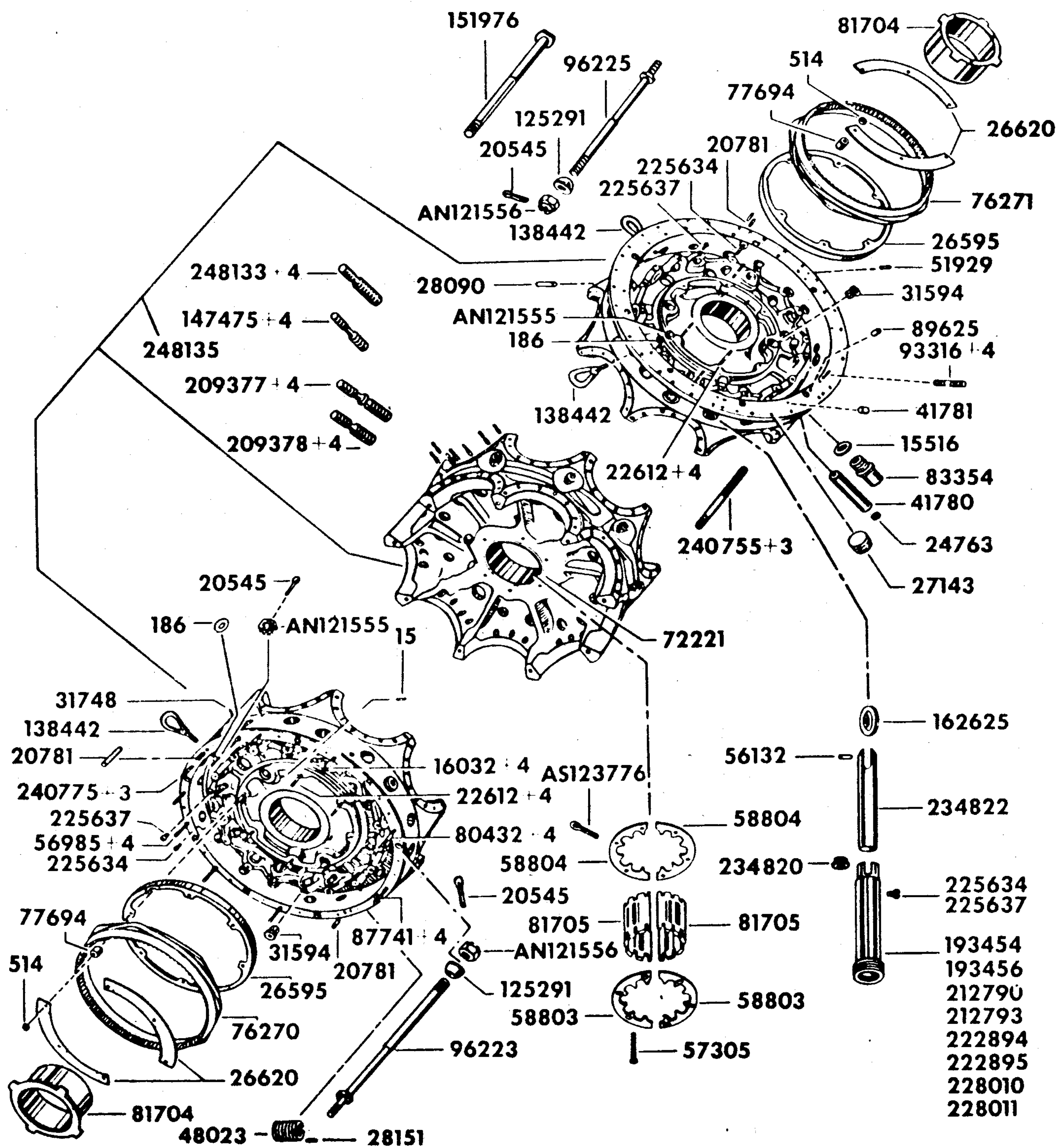


Figure 7 — Main Crankcase

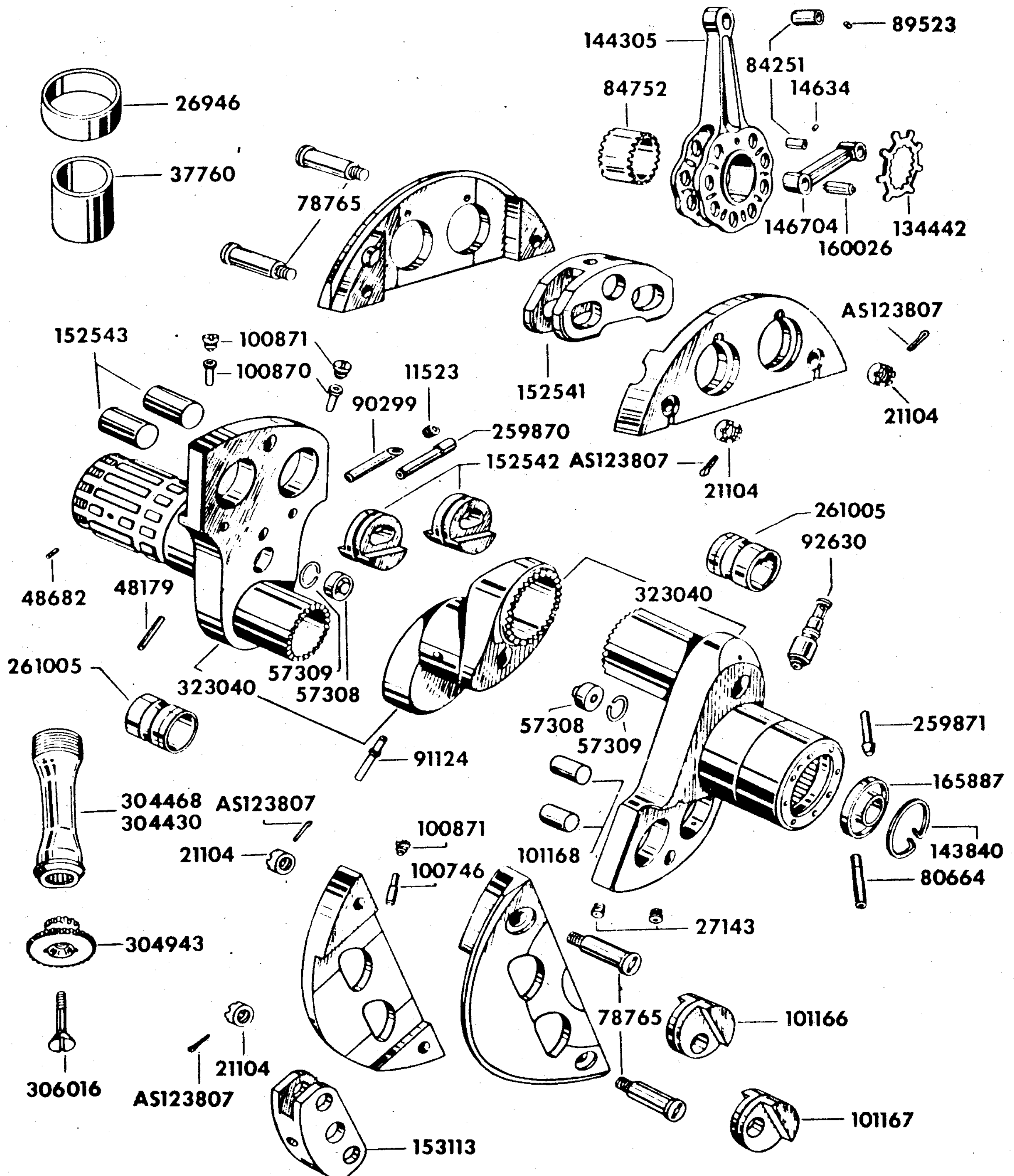


Figure 8 — Crankshaft and Connecting Rods

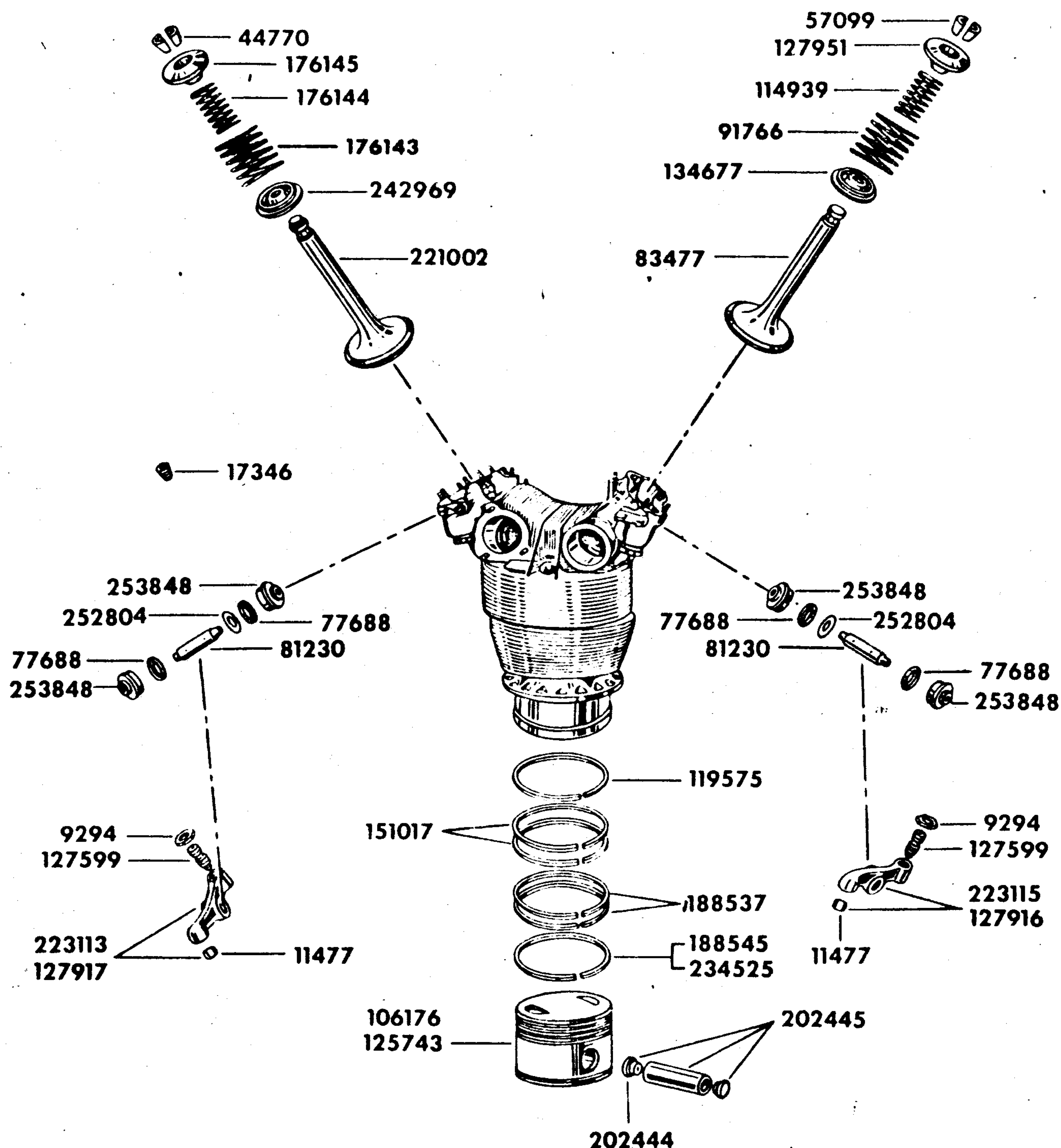


Figure 9 — Valves, Valve Rockers, Pistons and Pistonrings

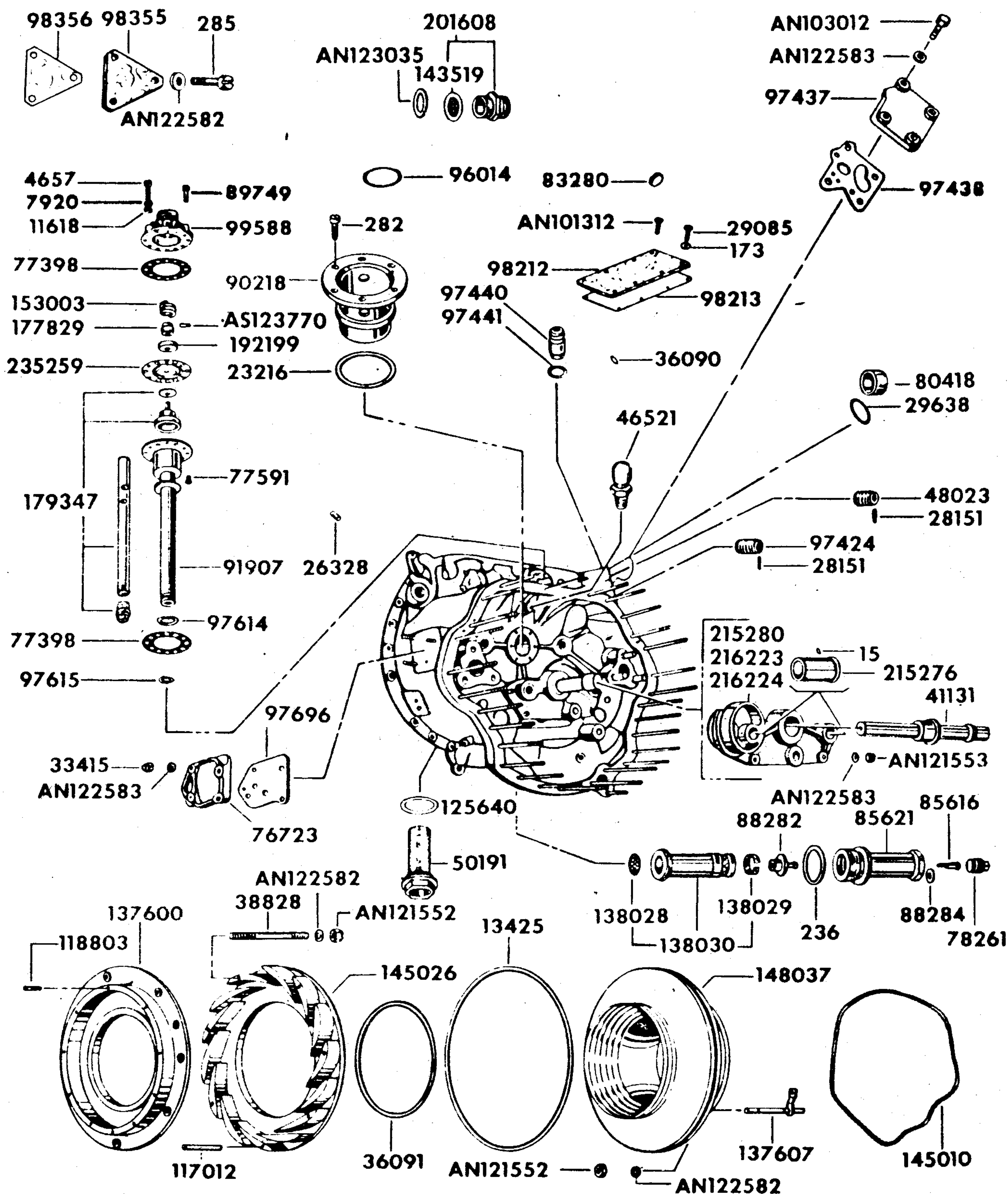


Figure 10 – Diffuser, Fuel Feed Valve, Fuel Drain Valve and Breather

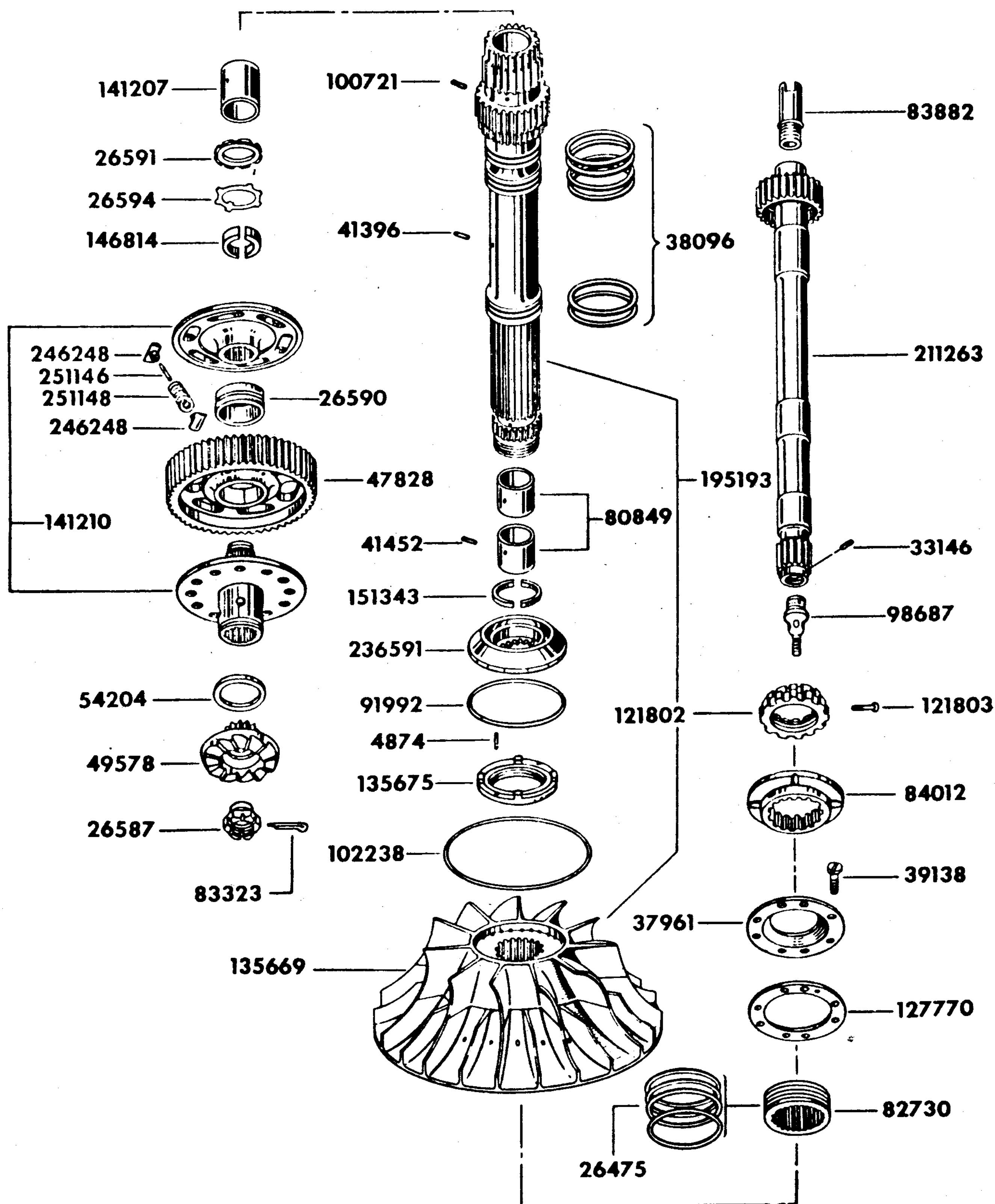


Figure 11 — Accessory Drive, Impeller and Starter Jaw

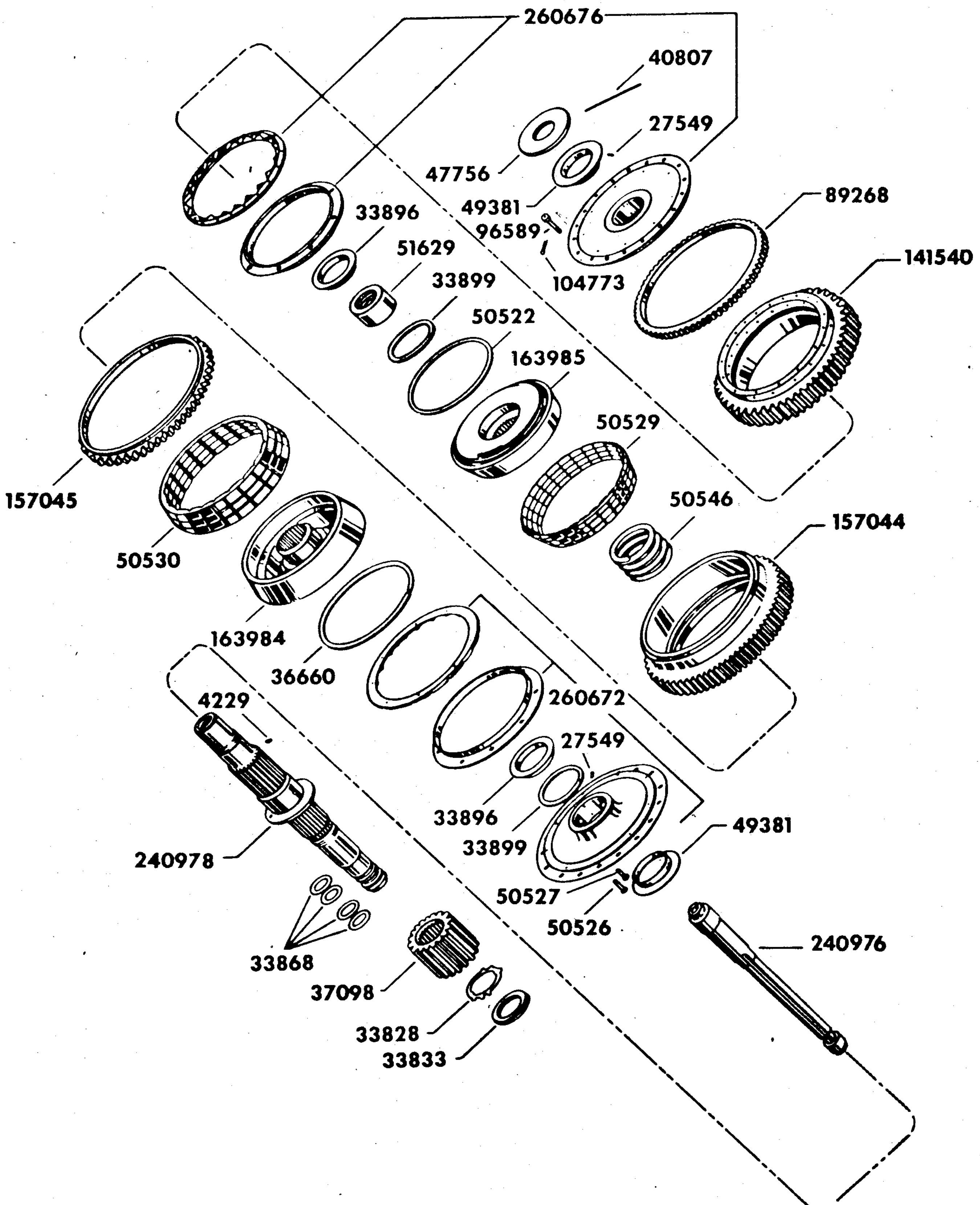


Figure 12 — Clutches — (For CB16, CB17, CA15 and CA18 Engines Only). Collector Intermediate Gear — (For CA3 and CB3 Engines Only).

CHAPITRE VIII

CARBURATION

PRELIMINAIRES

- <u>Notions sur l'écoulement des fluides</u> : <u>théorème de BERNOUILLI</u>

Considérons un filet fluide ; en A, sa vitesse est V_A

A ——— B

V_A V_B
P_A P_B
Z_A Z_B
ρ_A ρ_B

Sa pression est P_A

Sa masse spécifique est ρA

Son altitude est Z_A

Supposons que cette masse se retrouve en B après un certain déplacement durant lequel elle n'a cédé ou reçu aucune énergie.

Nous avons alors la relation :

$$\frac{V^2_A}{2} + \frac{P_A}{\rho_A} + Z_A = \frac{V^2_B}{2} + \frac{P_B}{\rho_B} + Z_B = C^{te}$$

Z caractérise l'énergie potentielle

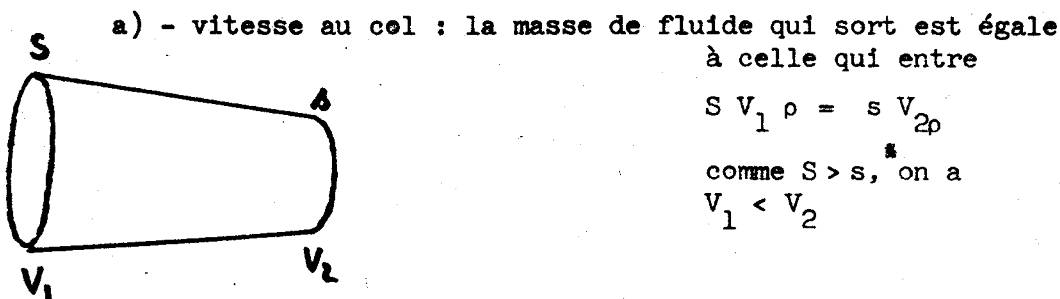
$\frac{P}{\rho}$ caractérise l'énergie due à la pression

$\frac{V^2}{2}$ caractérise l'énergie cinétique

et l'équation signifie que l'énergie totale du système est constante ; s'il a gagné en vitesse il a perdu en pression ; s'il a gagné de l'altitude il a perdu en vitesse ou en pression.

Application au Venturi.

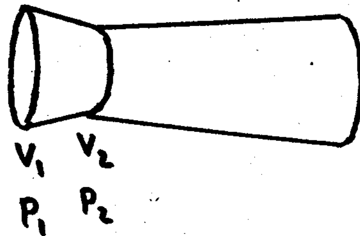
a) - vitesse au col : la masse de fluide qui sort est égale à celle qui entre



$S\ V_1\ \rho = s\ V_2 \rho$

comme $S > s$, on a $V_1 < V_2$

b) - pression au col : appliquons le théorème de Bernoulli avec $z_1 = z_2$



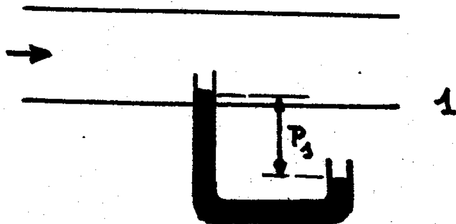
$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$$

comme $V_2^2 > V_1^2$, on a

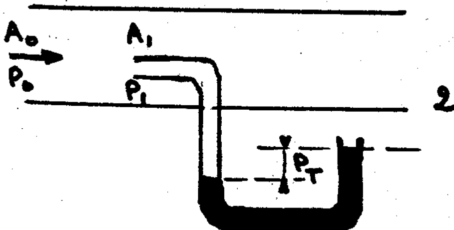
$P_2 < P_1$

Au col d'un Venturi, la pression est diminuée et la vitesse est augmentée.

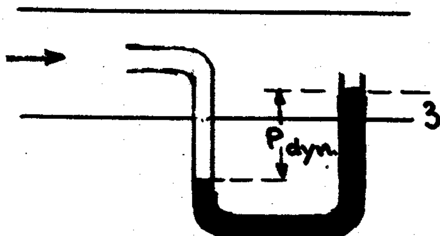
- Pression totale, pression statique, pression dynamique.



La pression statique P_s est celle qu'indiquerait un manomètre se déplaçant avec le fluide ; c'est celle que donne ce manomètre dont l'ouverture est parallèle aux filets d'air.



Considérons au contraire un tube ayant sa section ⊥ aux filets d'air. Il transmet au manomètre une pression dite pression totale P_T



La différence entre la pression totale et la pression statique s'appelle la pression dynamique.

Si on considère un filet fluide A_oA_1 (fig. 2) on a en A_o : V_o , P_o égale à la pression statique

en A_1 : $V = 0$, P_1 égale à la pression totale.

et :

$$\frac{V_o^2}{2} + \frac{P_o}{\rho} = 0 + \frac{P_1}{\rho}$$

d'où

$$P_1 - P_o = \rho \cdot \frac{V_o^2}{2}$$

$P_1 - P_o$ est la pressien dynamique ; elle est égale à la force -vive de l'unité de velume du fluide.

LA CARBURATION

La carburation consiste à préparer un mélange d'air et d'essence permettant la meilleure combustion possible.

Le procédé de carburation utilisé peut influer sur les performances du moteur par les facteurs suivants :

1 - Rendement chimique de la combustion.

2 - Vitesse de combustion.

3 - Densité du mélange carburé.

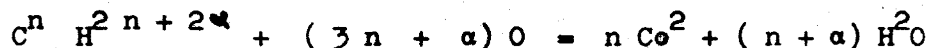
4 - Energie potentielle du mélange carburé.

5 - Réactions d'oxydation du carburant vaporisé.

1 - Rendement chimique de la combustion.

Dans l'air atmosphérique, seul l'oxygène est utilisé. Il représente 23 parties pour 77 d'azote, ce dernier étant inerte.

Les produits de la combustion doivent être du gaz carbonique et de l'eau



$$C_n H_{2n+2\alpha} + (3n + \alpha) O = n Co_2 + (n + \alpha) H_2O$$

où l'atome d'hydrogène représente 1 g.

où l'atome de carbone représente 12 g.

où l'atome d'oxygène représente 16 g.

Pour les carburants où $\alpha = 1$, la combustion complète d'1 g de carburant exigera 15 g d'air ;

Pour les carburants où $\alpha = 0$, la combustion complète d'1 g de carburant exigera 14,57 g d'air ;

Pour les carburants où $\alpha = -3$, la combustion complète d'1 g de carburant exigera 13,3 g d'air ;

L'essence étant formé essentiellement de $C^n H^{2n+2}$ et $C^n H^{2n}$, il faudra en moyenne 15 g d'air pour 1 g d'essence, c'est-à dire 12,245 l d'air pour 1 g d'essence.

Ces chiffres caractérisent la richesse théorique du mélange, capable de brûler sans qu'il reste ni air ni essence. En fait, la richesse peut varier dans une certaine marge, en dehors de laquelle aucune combustion n'est possible.

Il existe tout d'abord des limites d'inflammabilité, en dehors desquelles le mélange ne brûle pas :

r. i. = 1 / 28 - r. j. = 1 / 8

Mais si r dépasse légèrement r. i. , le mélange brûle si lentement que le fonctionnement du moteur n'est pas possible. Il n'est possible que lorsque la richesse est dans la " zone de fonctionnement " ; le rendement et la puissance croissent alors avec la richesse, passent par un maximum, diminuent ensuite puis en sort de la zone de fonctionnement .

Près de r. i. , la combustion est si lente que le moteur chauffe et que, la combustion n'étant pas terminée lorsque l'admission s'ouvre, il y a des retours au carburateur.

Près de r. j. , la combustion incomplète s'accompagne d'encrassements, de fumées noires et de claquements à l'échappement. Il se forme des couches de calamine qui, restant rouge, peut provoquer de l'auto-allumage ; les claquements à l'échappement sont produits par le mélange non brûlé qui trouve, au contact de l'air, l'oxygène nécessaire à sa combustion.

La zone de fonctionnement est donc définie par :

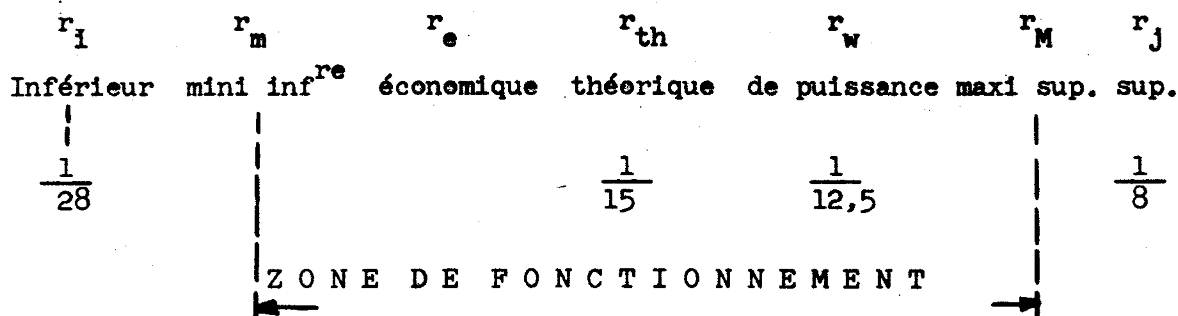
Limite inférieure $r_m > r_i$

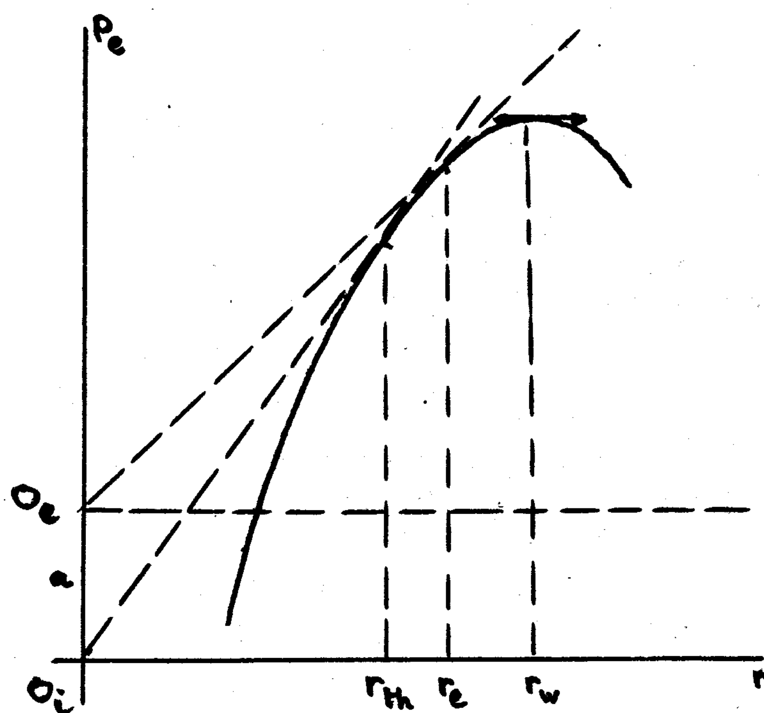
Limite supérieure $r_M < r_j$

Il existe par ailleurs une richesse r_e qui peut être très voisine ou même inférieure à r_m et qui correspond au minimum de consommation spécifique et une richesse $r_m > r_e$ en général comprise

entre r_{th} et r_M et qui correspond au maximum du couple moteur.

On a donc en réalité :





Considérons la courbe qui donne le couple moteur en fonction de la richesse. <u>Ou mieux</u> afin de pouvoir comparer 2 moteurs, la courbe Pi ou Pe en fonction de r.

Toutes les causes modifiant le rendement du moteur modifient cette courbe, mais celles dont l'effet est indépendant de la richesse (frottements, entrainement des auxiliaires) déplacent la courbe parallèlement à l'axe des ordonnées. Si Pe est la pression moyenne effective, on pose Pe = Pi - a ; on peut admettre que "a" est une constante indépendante de la charge et du régime et égale à 1 kg / cm^2 ou 1,5 kg / cm^2. Les autres causes venant modifier la marche du moteur peuvent déformer ou déplacer la courbe mais la richesse de puissance maximum est toujours celle qui correspond à la

tangente horizontale ; celle donnant le maximum de rendement global correspond au maximum du rapport :

$$\frac{P_e}{\text{poids combustible}}$$

c'est la pente de la tangente issue de l'origine Oe ; on voit que cette richesse est un peu supérieure à celle du rendement thermique maximum, qui correspond à la tangente issue de O_i.

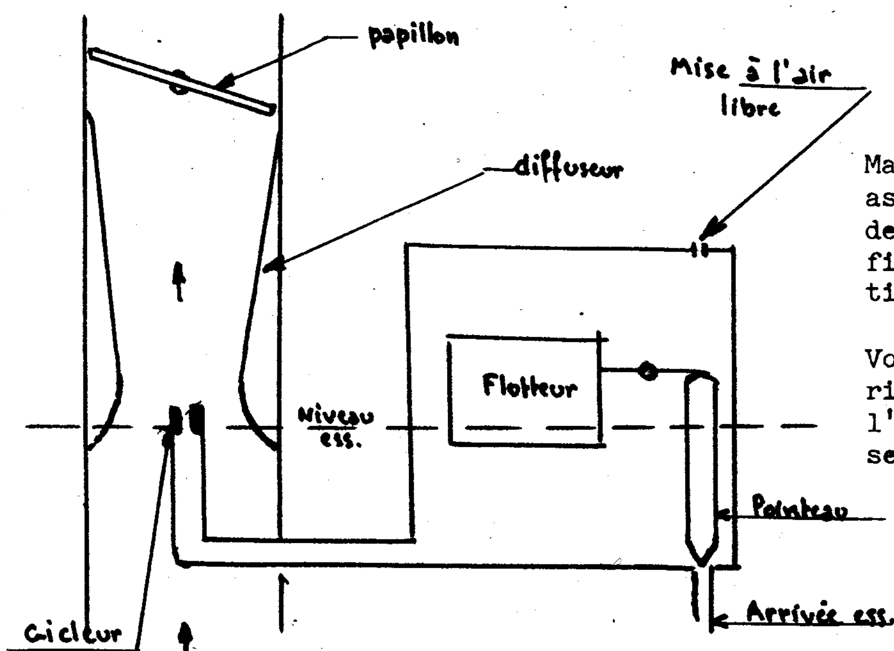
Les courbes obtenues pour les différents moteurs ont des formes semblables avec un maximum de puissance correspondant à 20 % environ d'excès d'essence et cela sensiblement pour toutes les vitesses et toutes les charges ; le mélange riche à 20 % (1 gr. d'essence pour 12,5 gr. d'air) est celui qui brûle le plus rapidement.

Contrairement à r_w, le mélange le plus économique (rendement maximum) r_e est de composition extrêmement variable. Non seulement il varie d'un moteur à l'autre, mais sur un moteur déterminé, il varie avec la température et surtout avec la vitesse et le remplissage.

Le mélange r_w n'est indiqué que lorsqu'on veut tirer du moteur toute sa puissance ; généralement on cherche le plus économique r_e. On devra en tout cas, se tenir entre les 2 extrèmes du dosage r_e et r_w.

Le carburateur idéal serait celui qui réaliserait avec une marche régulière et des reprises franches, la richesse r_w à plein gaz et au contraire la richesse r_e dès que, par réduction des gaz, on a créé volontairement une baisse de coefficient de remplissage.

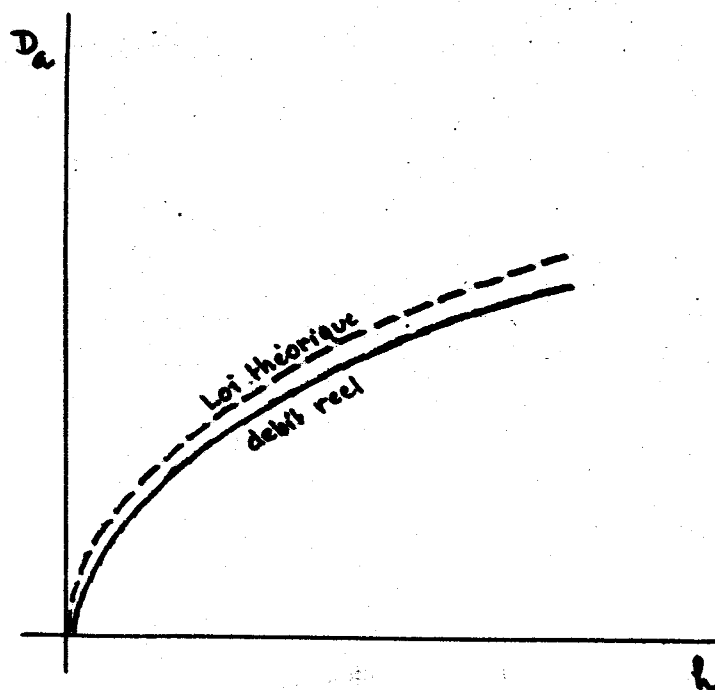
Nous allons voir tout d'abord le carburateur élémentaire (fig. ci-après). Le passage de l'air dans le venturi crée une dépression, et cette dépression sert à aspirer l'essence venant d'une cuve à niveau constant ; un gicleur calibre cette essence. Le papillon sert à régler le mélange admis et contrôle ainsi la puissance. Le jet d'essence est pulvérisé par le courant d'air.



Mais le carburateur doit assurer le dosage dans des proportions bien définies et toujours identiques.

Voyons donc comment varient l'écoulement de l'air et celui de l'essence.

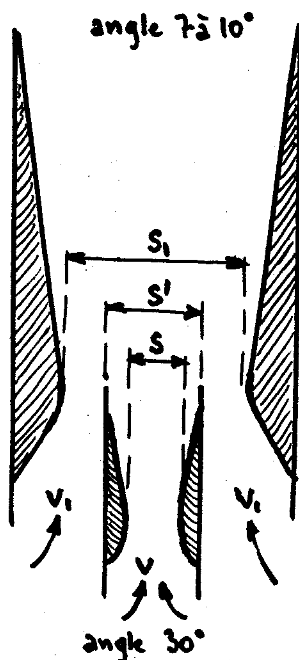
a) - Ecoulement d'air : le débit d'air varie suivant la section de passage du diffuseur et suivant la $\sqrt{}$ de la dépression h.



$D_a = C.\ S.\ \sqrt{h}$

C ne dépendant que de la densité de l'air, le débit réel est inférieur au débit théorique, surtout en raison du caractère pulsatoire de l'écoulement, l'inertie de l'essence étant supérieure à celle de l'air, et en raison des frottements.

On peut agir sur la dépression en faisant varier la section du Venturi, ce qui n'est possible que dans d'étroites limites, ou en augmentant le nombre de Venturi.



$$V = V_1 \frac{S'}{S}$$

les vitesses de passage dans le Venturi sont de 70 à 130 m/s

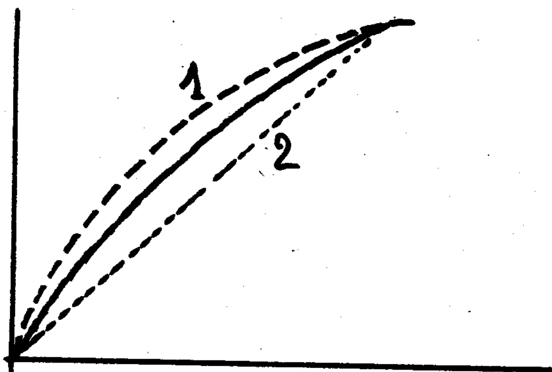
b) - Ecoulement de l'essence : par suite des capillarités, des variations de niveau de la cuve, la courbe de débit réel de l'essence est comprise entre les 2 courbes théoriques :

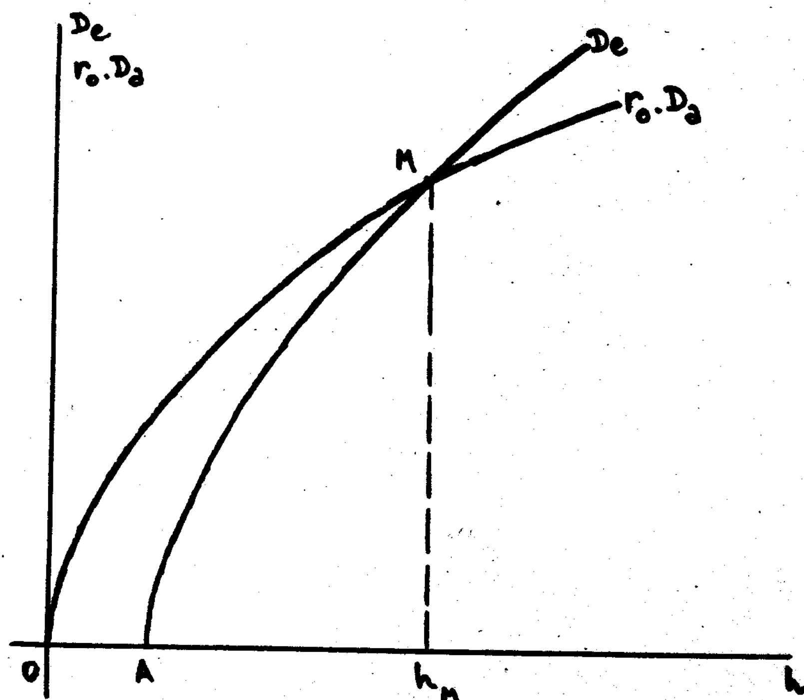
$C_1 \, D_e^2 = H - h_2$ (loi de Bernouilli - parabole 1)

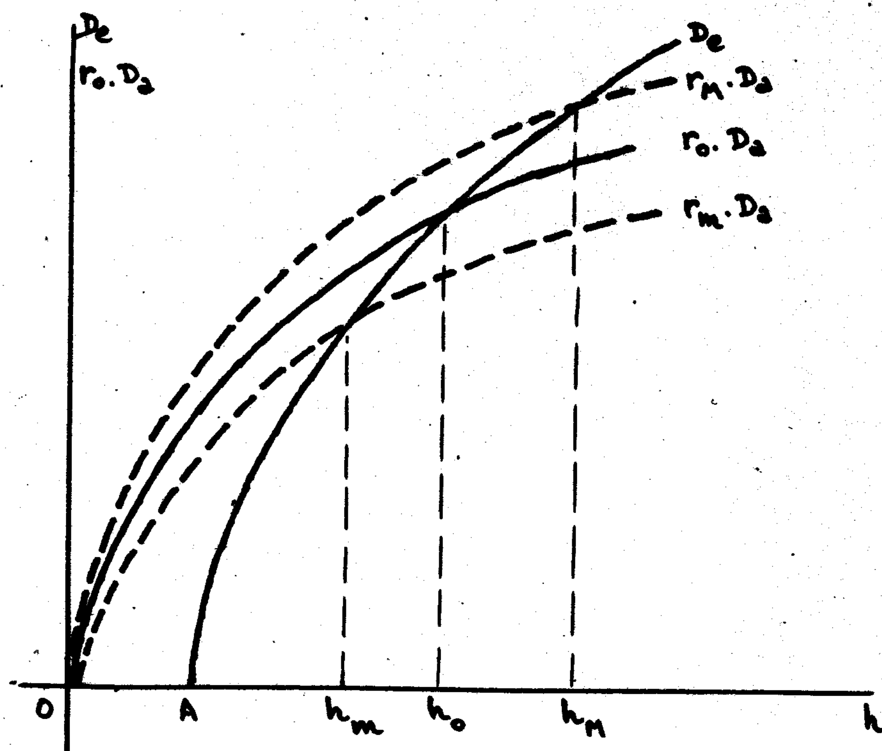
$C_2 \, D_e = H - h_2$ (loi de Poisenilli - droite 2)

où C_1 et C_2' sont des constantes, D les débits, H la charge motrice (dépression + différence de niveau), h_2 la hauteur de charge minimum pour faire jaillir l'essence.

La loi réelle se trouve située entre les 2 courbes théoriques.







<u>Nous pouvons dès lors représenter graphiquement la richesse du mélange</u>..Soit r_o la richesse à réaliser ; le débit d'air devra être :

$$D_a = \frac{D_e}{r_o}$$

On peut donc porter $r_o \cdot D_a$, et D_e sur le même graphique ; on constate que seul le point M donne la richesse optimum r_o ; pour les faibles dépressions le mélange sera pauvre et il s'enrichira au fur et à mesure que la dépression augmentera.

En pratique, il n'est pas absolument nécessaire de réaliser la richesse r_o et on accepte un intervalle dans lequel la richesse est comprise entre r_m et r_M ; lautomaticité est réalisée dans l'intervalle h_m h_M ; on parle alors d'automaticité pratique.

2°) - Préparation physique du mélange .

Pour obtenir l'utilisation optimum du mélange au moment où l'étincelle éclate, il faut :

a) que le mélange soit aussi homogène que possible ;

b) que l'essence soit aussi complètement vaporisée que possible ;

c) que la température du mélange soit aussi élevée que possible ;

A) - Homogénéïté du mélange.

Il est nécessaire que chaque cylindre reçoive un mélange pareillement dosé, donc le mélange devra être très homogène avant son entrée dans les cylindres. Mais il faut aussi que les proportions soient identiques dans tous les points des chambres d'explosion.

Donc au moment de la combustion, le mélange doit être entièrement vaporisé et diffusé dans la masse. En effet, la présence de gouttes liquides ne peut que retarder la combustion :

- car la vaporisation se fait alors dans un volume de plus en plus petit.

- car elle constitue un manque d'homogénéïté.

- car, si elles sont trop grosses, elles brûlent mal ; le noyau charbonne sous l'action de la chaleur entrainant le " cracking " avec possibilité de décomposition totale avec combustion d'hydrogène et dépôt de carbone (calamine).

La vaporisation au niveau du gicleur sera donc d'autant plus énergique que la pulvérisation aura été mieux faite ; cette pulvérisation est enfin nécessaire pour que l'air puisse entrainer l'essence avec lui.

Il existe 3 actions provoquant la pulvérisation.

- a) pulvérisation mécanique - par suite du brusque changement de pression à la sortie du gicleur, provoquant un éclatement de la veine.

- b) pulvérisation cinétique - due à la différence de vitesse entre le courant d'air et le courant d'essence et dont le véritable agent doit être cherché dans la présence de mouvements tourbillonnaires dans l'écoulement de l'air (vitesse, poli, obstacles).

- c) pulvérisation thermique - les gouttes déjà formées émettent des vapeurs ; malgré l'abaissement résultant de la température, il y a dilatation de la veine combustible (1 l. d'essence fournit150 l. de vapeur). Les gouttes sont donc écartées les unes des autres, d'où nouvel éclatement et fractionnement de plus en plus poussé tandis que la vaporisation superficielle empêche les gouttes de se rassembler.

B) - Température minimum de carburation -

A sa sortie du carburateur, le mélange carburé peut être considéré comme le mélange de 15,3 kg d'air avec 1 kg d'essence réduite à l'état de vapeur. Il faut que cette vapeur reste à l'état de suspension dans le mélange et par suite celui-ci ne devra pas avoir une température inférieure à une valeur bien déterminée, qui sera celle pour laquelle la vapeur devient saturante dans les conditions de pression régnant dans les tuyauteries.

Ainsi avec de l'heptane, la vapeur devient saturante à 6° pour une pression de 740 m / m ; en dessous de cette température la vapeur se condense et le mélange s'appauvrit. Si par réduction des gaz, la pression tombe à 370 m / m (ralenti), nous trouvons une nouvelle température de - 5°.

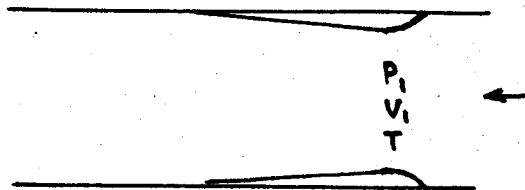
Donc d'une façon générale, la température du mélange ne devra jamais être inférieure à 6° pour éviter toute condensation dans tous les cas.

C) - Givrage et réchauffage des carburateurs.

Etudions les diverses causes d'abaissement de la température dans un carburateur.

1°) - Détente de l'air dans le Venturi.

L'air circule dans le Venturi à une vitesse d'environ 100 m / s lors du plein gaz ; cet air se détend adiabatiquement et par suite se refroidit.



La loi de Bernouilli donne

$$\frac{V_o^2}{2} + \frac{P_o}{\rho} = \frac{V^2}{2} + \frac{P}{\rho}$$

ou

$$\frac{10330}{\frac{1,237}{9,81}} = \frac{10000}{2} + \frac{P}{\frac{1,237}{9,81}}$$

puisque $V_o = 0$, d'où

$P = 9730 \text{ k} / m^2 = 0,9730 K/cm^2$

Appliquons maintenant les lois de la détente adiabatique

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

T_1, P_1 à l'état initial

T_2, P_2 à l'état final

Avec par exemple $T_1 = 273 + 15 = 288$

$$\frac{T_2}{288} = \frac{(0,9730)}{(1,033)}^{\frac{0,41}{1,41}} = (0,941)^{0,29}$$

$$\log T_2 = 0,29 \log 0,941 + \log 288$$

$$\log T_2 = 2,45174$$

$T_2 \# 283°$ absolu

$T_1 - T_2 = 288 - 283 = 5° C.$

C'est dans cet air légèrement refroidi que se fera une partie de la vaporisation de l'essence et on est par suite obligé d'en tenir compte bien que cet air doive théoriquement se réchauffer lors de son passage dans le divergent du Venturi.

2°) - Vaporisation de l'essence.

Prenons l'heptane comme constituant principal de l'essence :

Chaleur spécifique 0,507

Chaleur latente de vaporisation 74

Chaleur spécifique de l'air 0,23

Considérons un mélange de 15 g d'air pour 1 g d'essence ; un abaissement de température de 1° de ce mélange donnera ;

$$0,23 \times 15 + 0,507 \neq 4 \text{ calories}$$

donc pour vaporiser 1 g d'essence, il faudra un abaissement de :

$$\frac{74}{4} = 18°5$$

Si nous tenons compte de la température minimum de carburation, il faudra que combustible et air soient pris à :

$$18°5 + 6° = 24°5$$

dans l'étranglement du Venturi.

3°) - Position du papillon.

Si le papillon est en position de plein gaz, il y aura la même pression en amont et en aval, et par suite la même température (aux chutes de pression près dues aux obstacles). Par contre, si le papillon occupe la position du ralenti, il existera une forte dépression entre le volet et la turbine, de l'ordre de 0,500 K (370 m / m Hg) cette chute de pression par détente adiabatique produit un abaissement de température de l'air, dont nous allons calculer l'ordre de grandeur en prenant :

$P_1 = 1\ K\ 033 = 10330\ k / m^2$

$T_1 = 306$

$P_2 = 0\ K\ 500$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

$$\frac{T_2}{306} = 0{,}48^{\ 0{,}29}$$

$$\log T_2 = 0{,}29 \ \log 0{,}48 + \log 306$$

d'où

$$T_2 = 246°$$

soit une chute de température maximum de l'ordre de 60°. C'est dans cet air refroidi que se fera la vaporisation de l'essence débitée par le circuit de ralenti.

Pour une position quelconque du papillon, pour laquelle le circuit principal débiterait, on pourrait faire un calcul analogue en prenant pour le mélange $\gamma = 1{,}41$

Réchauffage nécessaire à cause de l'humidité de l'air - givrage -

On voit donc que dans un carburateur qui pulvérise bien, on peut avoir un abaissement de température très notable et ceci dans un temps très court. Sous l'influence de ce froid, la température de la vapeur d'eau contenue dans l'air s'abaisse de t_1 à t_2 et cette vapeur se condense dès que sa tension f devient égale à la tension maximum de saturation f_2 pour la température atteinte t_2. Si $t_2 < o$, l'eau condensée se solidifie et se dépose sous forme de givre sur les parois ou obstacles dont la température est inférieure à 0° ; cette condensation est à craindre quelle que soit la température de l'air, si le degré hygrométrique est supérieur à 50 %.

Les glaçons se déposeront naturellement dans les anfractuosités où, par suite des remous, se produiront des ralentissements de la veine gazeuse, c'est-à-dire en particulier autour du Venturi et sur l'émulseur ; la section de passage des gaz est réduite de ce fait, d'où perte de puissance. Ce givre peut également se former quand le papillon des gaz est partiellement fermé, sur la tranche de celui-ci. C'est là que débite le gicleur de ralenti et il y a en ce point vaporisation intense ; de plus, le papillon est très froid par suite de la basse température qui règne après lui ; il se forme des glaçons qui, se coinçant entre le corps du carburateur et le papillon, peuvent arriver à le coincer.

Enfin, suivant les conditions atmosphériques, le givre pourra se former aussi dans la manche à air, dans les mêmes conditions où il se forme sur les ailes.

4°) - Carburateur à Venturi fixe.

Il y a 4 changements consécutifs de température dans le système d'alimentation par carburateur à Venturi fixe, qui ont une influence directe sur la formation de la glace.

a) L'air entre dans la manche à une température donnée et cette température décroit dans le Venturi par suite de la diminution de pression.

b) L'abaissement de température provoqué par la vaporisation de l'essence, la chaleur nécessaire à cette vaporisation étant fournie par le mélange. Cette variation est de l'ordre de 15° à 20°.

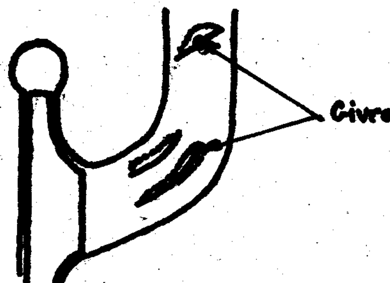
c) Après le Venturi, la pression décroit encore par suite de l'aspiration de la turbine et du moteur, d'où baisse de température, plus accentuée quand le papillon sera presque fermé.

d) Après la turbine, latempérature du mélange augmente par suite de l'augmentation de pression.

Ainsi, la chute de température peut atteindre, au total de 15° à 50° C, dépendant de la richesse et de l'ouverture des gaz. Sur la plupart des installations, on ne dispose que d'un thermomètre indiquant la température de l'air dans la manche à air et qui donne la

température " air carburateur ". Ainsi une chute de 28° C est courante entre la position de ce thermomètre et le papillon. Par suite, une bonne température d'entrée d'air sera 33° C environ, afin d'obtenir un mélange final à + 5°.

Les points où se déposera de préférence la glace seront les suivants :

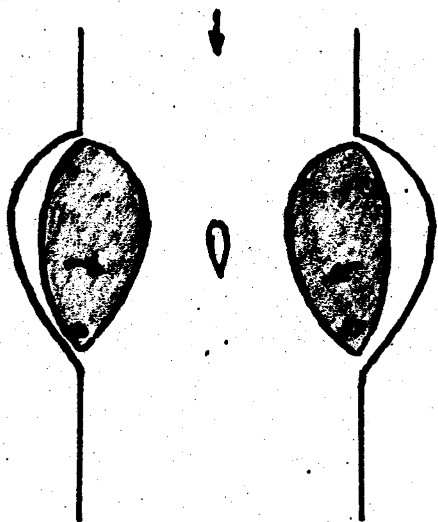


- manche à air, suivant les conditions atmosphériques

- venturi, émulseur, papillon, aubages fixes de turbine. (entrée)

Le givrage après le papillon est peu à craindre bien que la chute de température puisse être assez élevée, car l'écoulement de la veine gazeuse n'est plus perturbé.

5°) - Carburateur à Venturi variable.



Les changements consécutifs de température à envisager sont :

- chute dans le Venturi
- chute par suite de la vaporisation de l'essence
- chute par suite de la dépression variable entre le Venturi et la turbine dépendant de l'ouverture du Venturi
- élévation après la turbine.

Mais comme il n'existe aucun obstacle entre le Venturi et la turbine, la baisse de pression sera minimum ; d'autre part, la glace n'ayant aucun obstacle pour se déposer apparaitra moins facilement.

TEMPERATURES OPTIMA

D'après les expériences faites, les températures optima d'entrée d'air sont :

- à basse altitude, admission réduite avec air très humide ou pluie : 20° C minimum

- à basse altitude, avec temps clair humide : 10 à 15°
- à basse altitude, avec temps clair et sec : 5 à 10°
- à haute altitude, plein gaz, ces températures peuvent être réduites

- à plein gaz, par temps très humide ou pluie: 10 à 15°

- à plein gaz, par temps clair, humide : 5 à 10°

- à plein gaz, par temps clair et sec : 0 à 5°

En cas de doute, utiliser à fond le réchauffage ; il est plus dangereux de perdre toute la puissance par suite de givrage, qu'un peu seulement par suite de réchauffage.

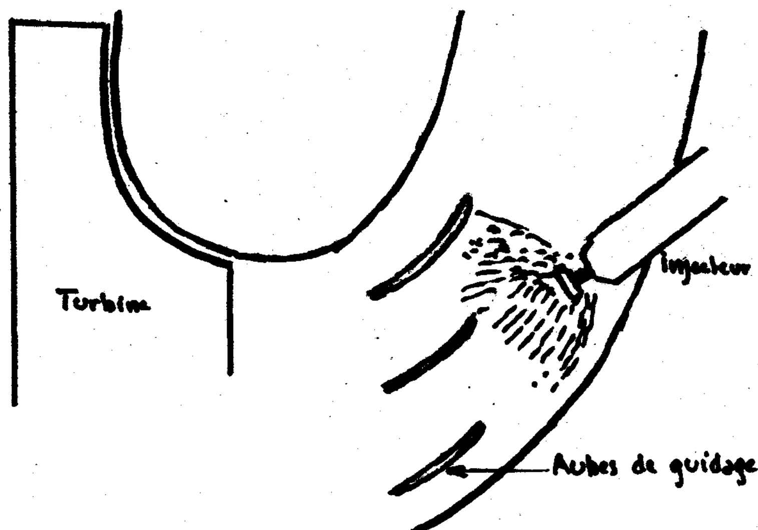
6°) - Carburateur à injection.

Nous avons toujours à envisager les mêmes variations de température.

- chute dans le Venturi

- chute dans l'adapteur par suite de la dépression variable qui règne entre le papillon et la turbine et qui dépend de l'ouverture du papillon.

- chute entre l'injecteur et la turbine par suite de la vaporisation de l'essence.



- augmentation après la turbine.

La température minimum est donc atteinte entre l'injecteur et la turbine, dans une zone dépourvue d'obstacle pouvant faciliter de dépôt de givre. Par suite, ce carburateur sera beaucoup moins sensible au givrage que le carburateur à Venturi fixe fonctionnant par dépression ; il faudra surtout éviter que la glace puisse se déposer sur le papillon et le Venturi, ce qui nécessitera une température d'entrée d'air d'environ 20°, suffisante pour éviter tous les cas de givrage quelle que soit la position du papillon.

7°) - Agents de réchauffage.

On utilise les huiles de graissage, l'eau de refroidissement, les gaz d'échappement.

a) l'huile ne semble pas très indiquée comme agent de réchauffage parce que la couche en contact avec la paroi métallique qui la sépare du gaz à réchauffer se refroidit ; elle devient alors de plus en plus visqueuse, circule lentement et forme ainsi une couche mauvaise conductrice de la chaleur, arrivant à avoir une température à peine supérieure à celle du gaz à réchauffer.

b) l'eau de circulation permet facilement l'installation de doubles enveloppes. Sa température ne dépassant pas 60 à 80°, il n'y a pas de précaution spéciale à prendre. Enfin, l'eau apporte beaucoup de calories sous un faible volume.

La quantité de chaleur apportée ne variera pas quand le régime sera établi : s'il se produit des ratés, on a un volant de chaleur considérable.

D'autre part, si la vitesse du moteur vient à baisser pour une même ouverture des gaz, la vitesse des gaz dans la tubulure diminue et les condensations sont à craindre. Mais l'eau de refroidissement emporte davantage de calories du moteur, ayant davantage de temps de contact : par suite, le carburateur sera réchauffé de façon plus intense.

Si on modifie le régime par étranglement des gaz, la température moyenne du cycle diminue ; mais les gaz ayant diminué aussi, la quantité de chaleur apportée par l'eau restera à peu près proportionnelle à la masse réchauffée.

Par contre, ce mode de réchauffage fait défaut au départ Il est aussi assez peu énergique, du fait de la température relativement basse de l'eau.

c) le réchauffage par les gaz d'échappement présente les avantages et les inconvénients complémentaires du précédent.

Ainsi, il est plus malaisé de réaliser la double enveloppe, moins facile de régler le réchauffage, qui est sujet aux ratés.

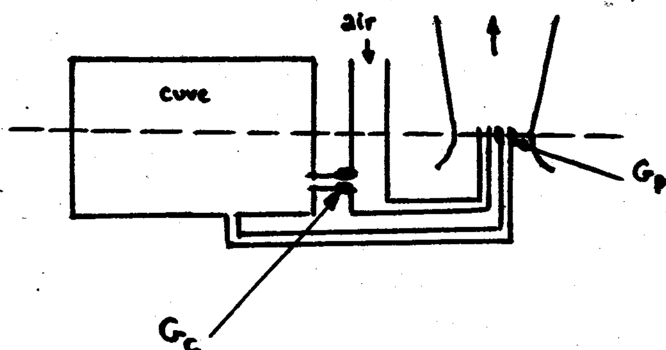
Le gros intérêt de ce système réside dans l'écart de température entre les gaz d'échappement et les gaz à réchauffer - et dans le fait qu'il fonctionne dès que le moteur tourne.

8°) - Procédés de réchauffage.

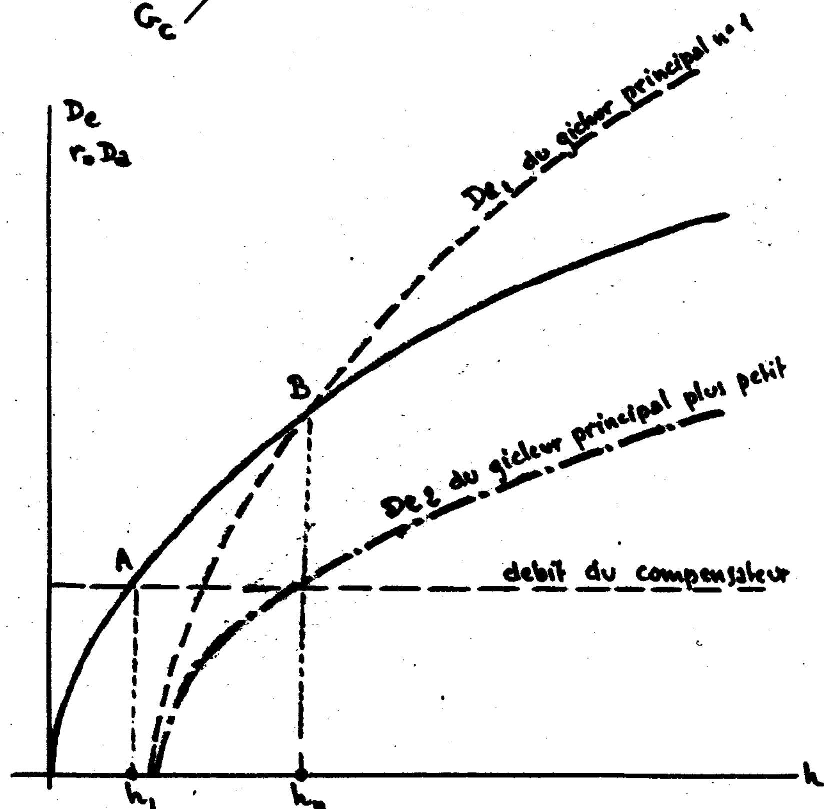
Un procédé est d'abord à éliminer : celui du réchauffage du liquide, pour éviter le " vapor lock " ; d'autre part, il faudrait réchauffer l'essence à 234° pour avoir le mélange final à 0° ; or on ne peut dépasser 35 à 40°. Le réchauffage de l'air se présente plus favorablement : en prenant toujours le cas de l'essence avec 0° comme température finale, il suffirait de réchauffer à 35°, mais pour être efficace, le réchauffeur d'air devra être important - ou alors il faut prendre de l'air déjà réchauffé, mais alors on risque de diminuer le coefficient de remplissage.

Réalisation de l'automaticité.

Gicleur compensateur - Principe Zénith : au gicleur ordinaire débitant trop de carburant aux fortes dépressions, on adjoint un gicleur compensateur dont le débit est rendu indépendant de la dépression.

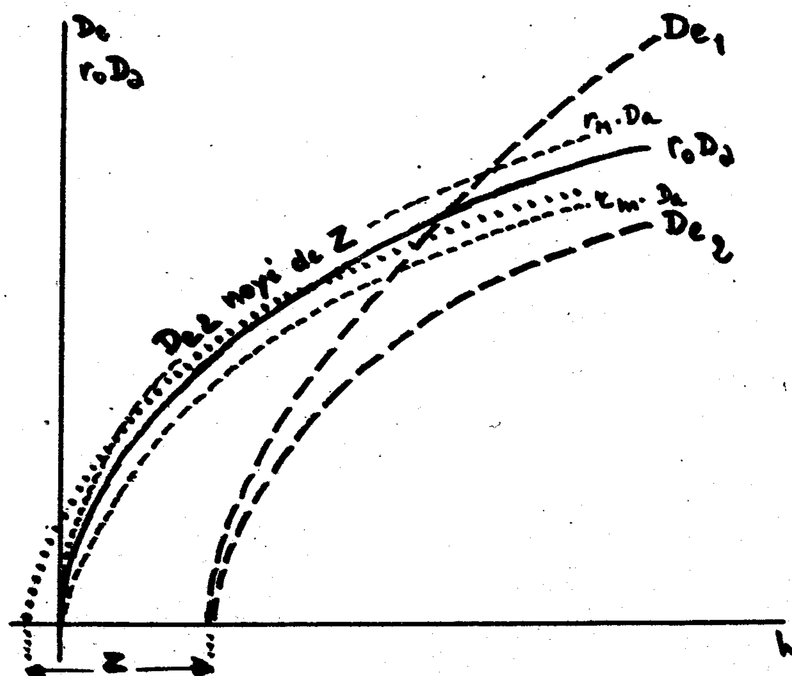


Sur les abaques ci-contre, on constate que l'automaticité serait obtenue pour la dépression h_n. Pour l'avoir aussi à la dépression h_1 il faut ajouter au débit du gicleur principal le débit du gicleur compensateur. En A le gicleur principal ne débite pas et seul le compensateur débite, sous l'effet d'une charge constante d'essence.



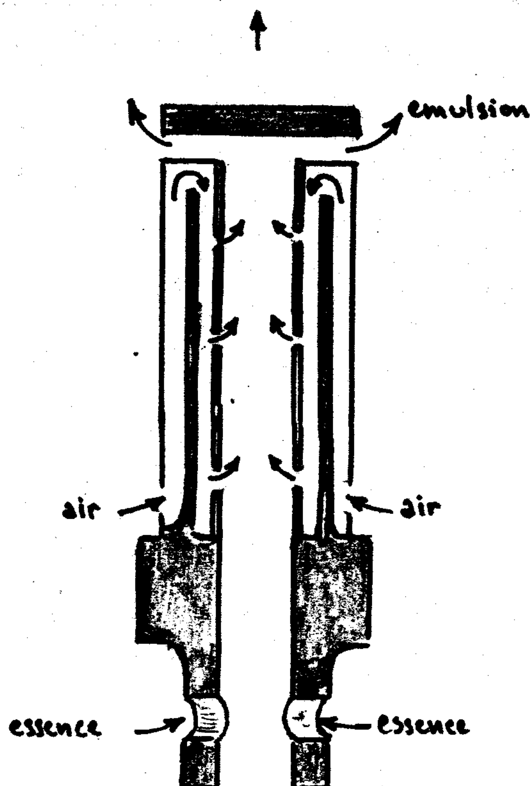
En prenant un gicleur principal plus petit que le n° 1, donnant ainsi une nouvelle courbe D_{e2}, la courbe de débit total De_2 + $De_{comp.}$ se superpose sensiblement à A B et l'automaticité est ainsi réalisée entre h_1 et h_n. Entre 0 et h_1, il faudra un carburateur de ralenti.

Gicleur noyé - Principe Solex : Le principe consiste à mettre un gicleur à un certain niveau en dessous de la cuve. Noyer un gicleur d'une hauteur Z consiste à déplacer toute sa courbe De_1 de $Z \cdot \delta_e$

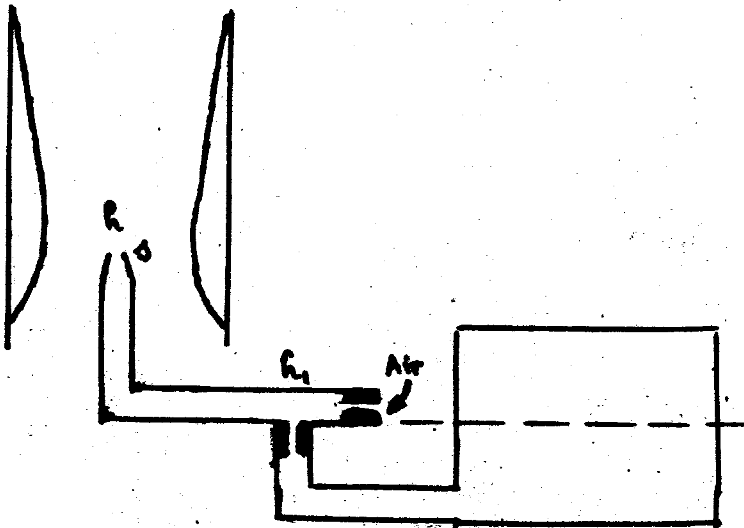


On conçoit qu'on puisse trouver un gicleur 2 plus petit que 1qui, noyé d'une hauteur Z, donne un débit correct pour 2 valeurs de la dépression et des débits corrects pour les autres dépressions.

Pour empêcher l'écoulement de l'essence à l'arrêt, on place le gicleur au fond d'un puits ou d'un canal aboutissant à ce puits ; une entrée d'air est ménagée au dessus du puits pour lui permettre de se dénoyer. Cette rentrée d'air constitue une mise en dérivation. Ci contre le schéma d'un tube émulseur.



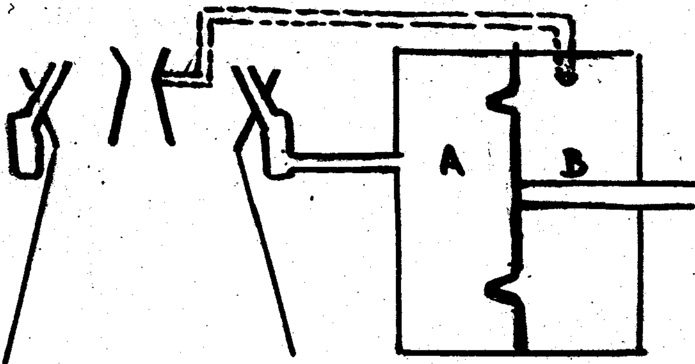
Gicleur en dérivation.



Un gicleur est en dérivation lorsque la dépression ne se fait pas sentir directement sur lui.

Si la dépression h règne dans le venturi, il ne règne qu'une dépression h_1 plus petite sur le gicleur, h_1 restant proportionnel à h. La déviation ne constituerait donc pas une automaticité réelle ; employée seule, elle n'est pas suffisante.

Carburateur à injection.



La chambre A est à la pression prise par les tubes de choc, c'est-à-dire à la pression totale.

La chambre B est à la pression qui règne dans l'étranglement du petit Venturi, c'est à-dire à une pression statique.

La différence de pression entre A et B est donc égale à la pression dynamique $\frac{1}{2}mv^2$

donc proportionnelle au poids d'air. L'automaticité est donc réalisée.

Autres conditions à satisfaire par un carburateur.

Ralenti - Reprises - Enrichissement de puissance - Correction altimétrique - Demarrage - Protégé contre le givrage - Etouffoir - Eventuellement limiteur d'admission.

Ralenti

La dépression sur l'essence est insuffisante en raison de la faible rotation du moteur. Il faut donc prendre la dépression sur la tranche ou juste au-dessus du papillon des gaz. Un petit gicleur est alimenté depuis la cuve, pouvant être piqué sur la canalisation amenant l'essence au gicleur principal. Un gicleur assure une prise d'air pour l'émulsion et une vis de réglage agit sur la sortie d'émulsion.

On a donc en quelque sorte un carburateur annexe.

Reprises

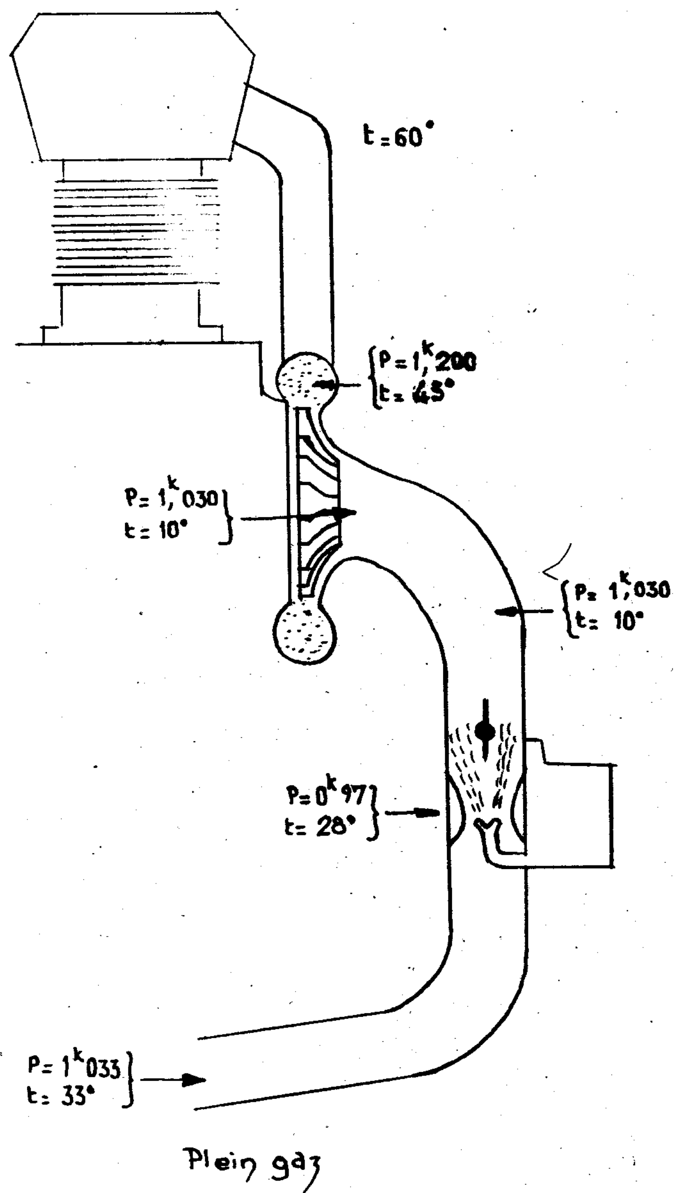
La différence de densité entre l'air et l'essence fait qu'au moment d'une reprise le mélange s'appauvrit.

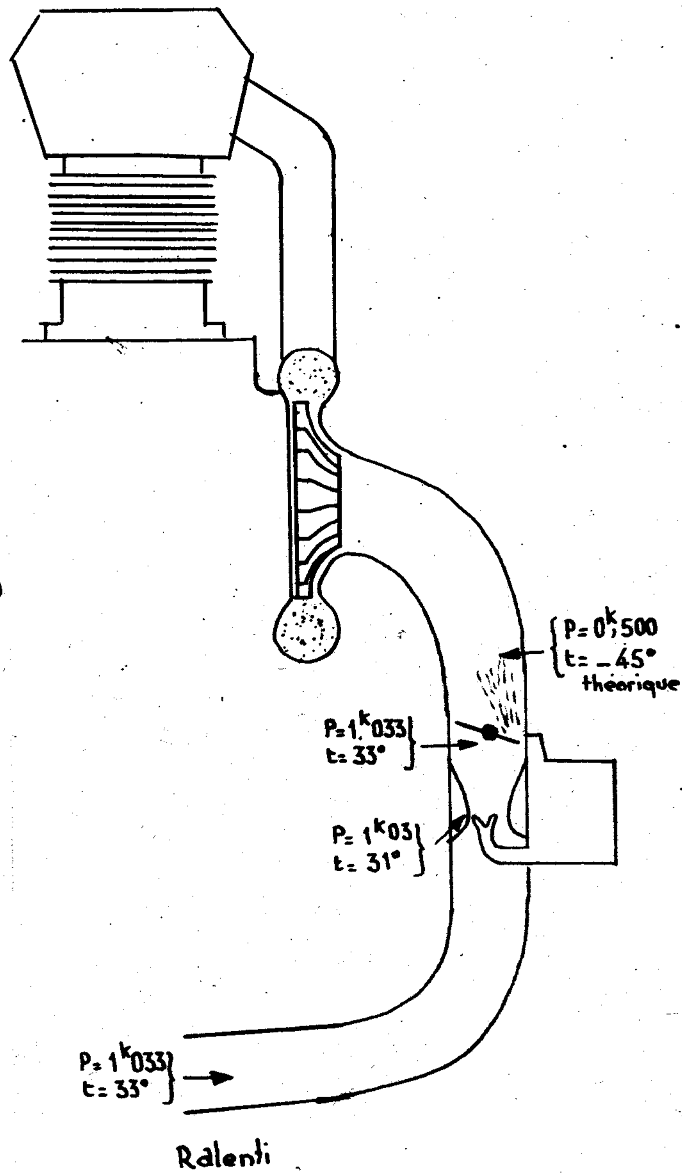
On injecte donc un supplément d'essence soit directement dans l'aspiration, soit dans l'émulseur ; cette injection est commandée soit mécaniquement par conjugaison avec le papillon, soit automatiquement par la dépression. Un clapet anti-retour empêche le refoulement dans le canal d'alimentation de la pompe.

Enrichissement

Quand on demande toute la puissance du moteur, il est nécessaire de passer à la richesse r_M en apportant un supplément d'essence.

On agit par déplacement d'une aiguille profilée dans l'alimentation en essence ou pour ouverture d'un circuit spécial commandé par une membrane ou une capsule.


t = 60°
P = 1,k200
t = 45°
P = 1,k030
t = 10°
P = 1,k030
t = 10°
P = 0k97
t = 28°
P = 1k033
t = 33°
Plein gaz


P = 0k,500
t = -45°
théorique
P = 1,k033
t = 33°
P = 1k03
t = 31°
P = 1k033
t = 33°
Ralenti

Correction altimétrique. La densité de l'air diminue avec l'altitude celle de l'essence reste sensiblement constante et $r_z = r_o \frac{1}{\sqrt{\mu}}$

La richesse augmentant avec l'altitude, on freine le débit d'essence directement, par l'intermédiaire d'une capsule soumise à la pression d'admission. On peut agir aussi sur la "force air" dans le cas du carburateur à injection.

Démarrage.

Pour démarrer, il faut un mélange extra-riche pour compenser les condensations dans les tubulures. Le starter est donc constitué par un carburateur à émulsion débouchant au-dessus du papillon ; son débit peut être pris sur le ralenti.

Givrage.

Déjà étudié.

Etouffoir.

Pour arrêter le moteur, on ferme l'arrivée d'essence et on coupe le contact des magnétos.

Changements de charge et de régime.

Pour faire varier le couple, on ne peut agir que sur 2 facteurs cylindrée, ou pression moyenne. Pratiquement, la cylindrée est constante et on agit sur la pression en faisant varier le coefficient de remplissage en créant une perte de charge sur l'aspiration au moyen du papillon, qui a l'inconvénient de diviser en 2 la veine gazeuse en créant ainsi une perte de charge supplémentaire qui est alors un inconvénient.

COURS MOTEURS

MOTEURS A EXPLOSION

CHAPITRE IX

CARBURATEURS

CARBURATEUR A INJECTION

BENDIX - STROMBERG

Dans ce carburateur, l'essence est envoyée à une pression de 1100 à 1200 gr. par une pompe entraînée par le moteur ; l'essence est débitée par un injecteur sous une pression minimum de 350gr.

L'alimentation sous pression réduit le risque de formation des tampons de vapeur ; l'injection sous pression, qui se fait toujours au voisinage de la turbine du compresseur, donne une très bonne pulvérisation, une bonne homogénéïté du mélange d'où une alimentation idèntique de tous les cylindres.

La place de l'injecteur diminue d'autre part les risques de givrage.

Le débit d'essence est contrôlé :

1°) - automatiquement par le carburateur

2°) - par une commande manuelle

Description générale.

A) - Le grand Venturi, comprenant :

a) le grand diffuseur avec les tubes d'impact, dont l'ouverture est perpendiculaire aux filets d'air. Ces tubes prennent la pression totale de l'air telle que :

$$P = P_o + \frac{1}{2} m v^2$$

P_o étant la pression dans la manche à air, v la vitesse de l'air à son entrée dans le carburateur et m la masse de l'air.

b) le petit diffuseur, qui vient déboucher dans l'étranglement du grand diffuseur ; cette disposition augmente la vitesse de l'air dans l'étranglement du petit diffuseur, et par suite la dépression qui règne en ce point ; le collet est muni d'une gorge formant prise de pression statique, permettant la mesure de la pression de l'air dans ce collet.

c) le correcteur altimétrique, composé d'une capsule anéroïde presque entièrement remplie d'huile, le vide restant étant remplacé par de l'azote dont les dilatations en fonction de la température corrigent les variations d'élasticité du métal de la capsule.

d) un by-pass, court-circuitant le correcteur altimétrique en cas de panne de la correction altimétrique. La commande de ce by-pass est conjuguée avec celle du contrôle de mélange, de telle sorte que la correction altimétrique ne soit court-circuitée que sur " Plein riche " (Full rich) seulement. Ce by-pass est supprimé sur les dernières versions du carburateur.

e) les papillons.

B) - Le régulateur " air " composé de 2 chambres A et B séparées par une membrane en caoutchouc synthétique ; la chambre A est reliée aux tubes d'impact ; la chambre B est reliée au collet du petit diffuseur. La membrane entre A et B est donc soumise à une force proportionnelle à :

Pression totale tubes de choc - pression statique collet petit diffuseur =

Pression dynamique

force qui est donc proportionnelle au poids d'air passant par seconde dans le carburateur, d'où automaticité.

Cette force, dite " force d'air ", tend toujours à provoquer l'ouverture de l'aiguille de contrôle d'essence, qui est solidaire de la membrane.

C) - <u>Le régulateur " essence "</u> comprenant 2 chambres C et D séparées également par une membrane. L'admission d'essence est contrôlée par la position de l'aiguille de contrôle d'essence, dont l'ouverture minimum est réglée par le ressort du minimum d'essence, réglé au banc de façon à obtenir une richesse maximum à toutes les gammes de ralenti, c'est-à-dire jusqu'à 1400 t / m environ.

L'essence sort de la chambre D pour entrer dans le bloc de contrôle d'essence et, après avoir franchi les gicleurs, va à l'injecteur et d'autre part, vient remplir la chambre C.

D) - <u>Bloc de contrôle d'essence</u>. L'essence passe d'abord par le siège du pointeau de ralenti, pointeau dont le mouvement est conjugué par biellettes réglables avec les papillons. Après 10° d'ouverture des papillons, ce pointeau est suffisamment effacé pour ne plus calibrer l'essence.

L'essence passe ensuite par les gicleurs et le contrôle de mélange, suivant des circuits différents selon les carburateurs (voir type H et type B).

Un enrichisseur, dont le fonctionnement est assuré par les différences de pression entre A et B (carburateur mixte type B) ou entre C et D (carburateur tout essence, type H) permet l'enrichissement progressif du mélange, à partir de 2200 t / m environ.

E) - <u>L'adaptateur avec l'injecteur et la pompe de reprise</u> : L'essence calibrée par le bloc de contrôle d'essence est envoyée à l'injecteur par le tube de transfert d'essence. Un Y permet le remplissage de la pompe de reprise.

F) - <u>L'arrivée d'essence dans le carburateur</u> se fait par l'intermédiaire d'un filtre qui se trouve dans la chambre du dégazeur. Ce dégazeur est constitué par un flotteur commandant un pointeau venant obturer un retour vers le réservoir ; il permet le retour des vapeurs d'essence qui pourraient s'accumuler dans la partie haute de cette chambre.

<u>Remarque</u>.

Tous les points hauts des chambres où se trouve de l'essence sont également munis de canaux de purge permettant d'évacuer vers l'injecteur les vapeurs d'essence qui se formeraient.

<u>Fonctionnement pratique</u> - (voir schéma de principe)

Nous venons de voir que la membrane entre A et B était soumise à la pression dynamique de l'air, créant une force d'air provoquant l'ouverture de l'aiguille de contrôle d'essence. Si rien ne vient équilibrer cette force à un moment donné du déplacement de l'aiguille, l'ouverture sera maximum et le débit d'essence également ; il va donc falloir créer une force qui équilibre la force d'air lorsque le débit du carburateur sera correct. Cette force sera la <u>force d'essence</u>.

L'essence entre dans le carburateur à une pression constante de 1200 g environ ; elle subit une première chute de pression en passant par le siège de l'aiguille de contrôle d'essence, et dont l'importance sera fonction de l'ouverture de l'aiguille. L'essence en D sera donc à une pression inférieure à 1200 g et variable suivant la position de l'aiguille ; pour aller dans la chambre C, elle devra traverser tous les gicleurs en subissant une nouvelle chute de pression qui sera d'autant plus grande que la pression en D sera grande mais qui sera telle que la pression en C variera moins vite que la pression en D. La membrane entre Cet D sera donc soumise à une force d'essence, variable suivant la position de l'aiguille de contrôle d'essence, et qui aura pour effet de provoquer la fermeture de l'aiguille, donc qui agit en sens contraire de la force d'air.

Ceci étant :

a) lorsque le moteur tourne au ralenti (la gamme des ralentis va jusqu'à 1200 t / m environ). La force d'air est faible ; l'aiguille de contrôle d'essence, dont la position d'ouverture minimum est réglée par le ressort de réglage du minimum d'essence qui assure ainsi un débit d'essence suffisant pour donner une richesse correcte à toutes les gammes de ralenti, est en butée contre ce ressort sous l'action de la force d'essence qui est supérieure à la force d'air.

b) si on accélère et qu'on passe dans la gamme des régimes de croisière (1200 à 2200 t / m environ), la force d'air augmente et devient supérieure à la force d'essence déterminée par la position minimum de l'aiguille ; l'aiguille de contrôle d'essence se déplace sous l'action de cette force, entraînant une ouverture progressive de l'arrivée d'essence ; la force d'essence augmente donc et, quand elle est égale à la force d'air, l'aiguille reste en équilibre, adaptant ainsi le débit d'essence au nouveau régime.

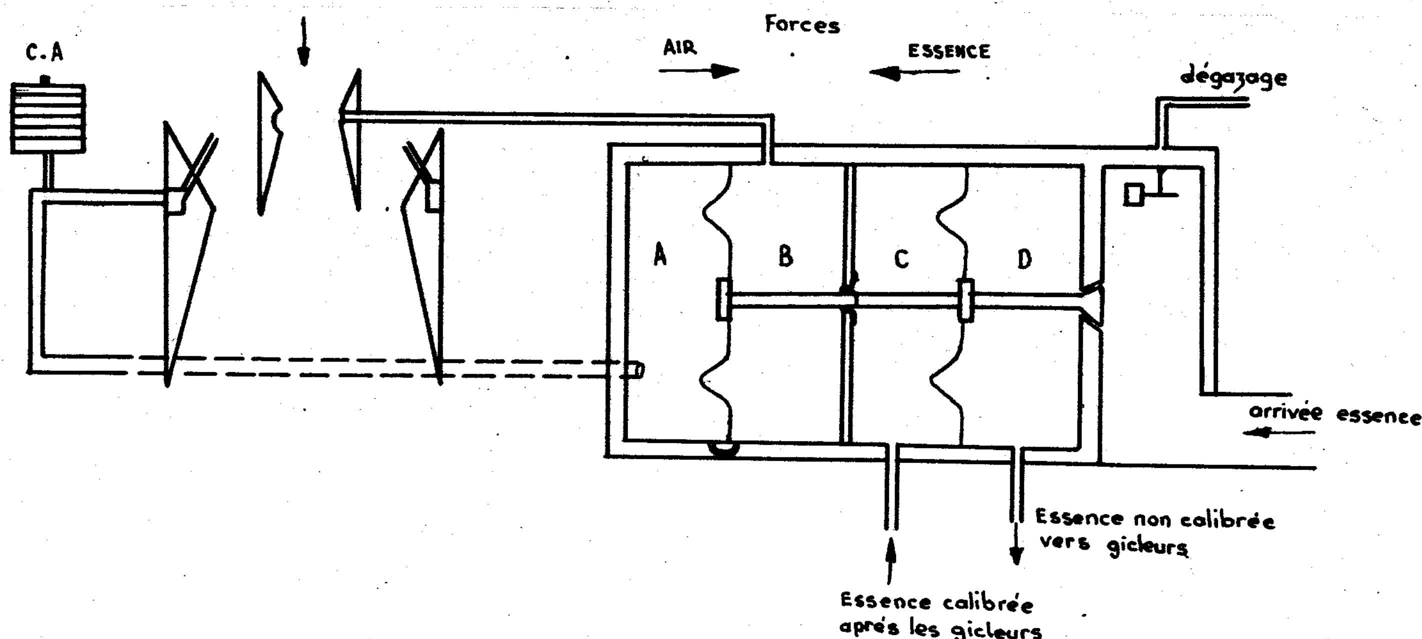
c) si on passe au-dessus de 2250 t / m, la différence de pression entre les 2 chambres de l'enrichisseur devient suffisante pour provoquer l'ouverture progressive de celui-ci par compression du ressort qui maintient fermé le clapet d'enrichisseur ; quand on est au nombre de tours maximum, l'enrichisseur est ouvert à fond.

d) nous constatons d'autre part le schéma de principe que l'aiguille de contrôle d'essence est soumise à une force perturbatrice due à l'effet de la pression d'essence sur une de ses extrêmités alors que l'autre extrémité est soumise à la pression d'air ; la pression d'essence est sensiblement constante mais la pression d'air est variable, d'où apparition d'une force variable suivant la position de l'aiguille perturbant le réglage.

Cette force est supprimée par le procédé suivant : à chaque extrémité de l'aiguille est aménagée une chambre fermée par une membrane, et les deux chambres sont alimentées en essence prise dans la chambre D. Les deux extrêmités de l'aiguille sont donc soumises à des forces égales et de sens contraire dont la résultante est nulle.

NOTA

Nous signalons ici le rôle du petit canal reliant les chambres A et B. Ce canal crée une circulation d'air dans les chambres et dans le canal allant des tubes de choc à la chambre A ; la correction altimétrique agissant sur la section de ce canal fait ainsi varier le débit et par suite la pression en A, ce qui ne pourrait être obtenu sans circulation d'air.



Le contrôle manuel de mélange donne les positions suivantes :

a) étouffoir (Idle Cut Off) : tous les départs d'essence vers l'injecteur sont fermés.

b) auto - pauvre (auto-lean) :donne la richesse minimum convenant au régime de croisière.

c) auto - riche (donne la meilleure richesse correspondant à toute la gamme des régimes de croisière).

d) plein - riche (full-rich) comportant en plus de la position précédente l'ouverture du boisseau isolant la correction automatique. Cette position n'est à utiliser qu'en cas de besoin, par exemple lorsque la correction automatique ne fonctionne plus. Cette position n'existe plus actuellement.

Le contrôle de mélange est utilisé dans les conditions suivantes :

- auto - pauvre pour les vols en croisière
- auto - riche pour le roulement au sol, le décollage, la montée, la prise de terrain et l'atterrissage ainsi que pour le point fixe.
- plein - riche en cas d'incident (position supprimée)
- étouffoir pour l'arrêt du moteur

CARBURATEUR SOLEX 35 - DISA - 3

(RENAULT 16)

Ce carburateur comporte 3 parties principales :

- corps réchauffé par la circulation d'eau
- cuve à niveau constant, recevant la pompe de reprise à commande mécanique
- le dessus de cuve qui reçoit le volet de départ et l'éconostat

Circuit principal.

Il comprend le gicleur noyé G_g débitant dans un puits P alimenté en air par le gicleur a ; l'émulsion air-essence se forme dans le tube émulseur S et vient sortir dans l'étranglement du Venturi K par les trous d'un tube de sortie d'émulsion N.

Circuit ralenti et volet de départ.

L'essence du ralenti est prélevée dans le puits P et alimente un gicleur g non noyé et soumis à la dépression venant de u_1 après le volet de départ, et de u_2 venant de l'étranglement du Venturi.

Quand le volet de départ est fermé, la dépression est maximum et le ralenti fonctionne en starter ; le papillon, conjugué avec le volet, est alors légèrement ouvert.

Quand le volet de départ est ouvert, le papillon revient en butée de ralenti et le circuit ralenti fonctionne normalement sous l'effet de la dépression u_2.

LAISSEE

INTENTIONNELLEMENT

BLANCHE

Econostat.

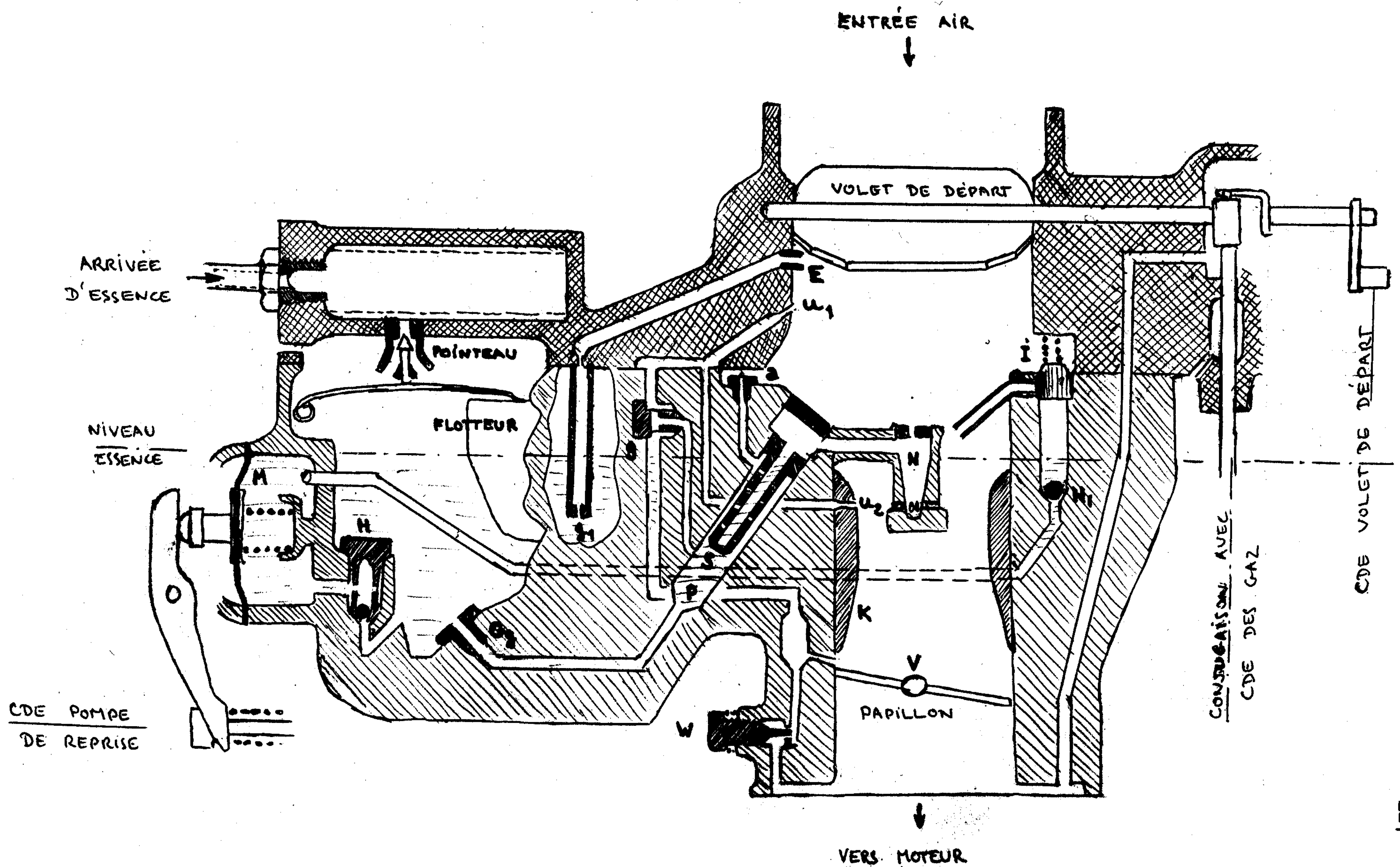
Aux régimes élevés, la dépression qui s'exerce sur E provoque un appel d'essence sur le gicleur g_1, un débit supplémentaire d'essence s'ajoute ainsi à celui du circuit principal.

Reprise.

La pompe de reprise est alimentée par un clapet anti-retour à billes ; une membrane conjuguée avec le papillon appelle l'essence par H et la refoule par le clapet anti-retour H_1 et l'injecteur de pompe I.

CARBURATEUR SOLEX 35 DISA-3

Sur RENAULT 16



C A R B U R A T E U R   Z E N I T H   34 - 36 W I M

C I T R O E N   I D   19

Le carburateur Zénith 36 IF monté sur la Renault 16 correspond au même schéma que celui du Solex 35 - DISA - 3.

Nous prendrons comme exemple le Zénith 34 - 36 W I M monté sur la Citroen I D 19 à la place du 32 I N, périmé. A titre indicatif, le 32 I N ne comporte pas de volet de départ et comprend un starter à commande manuelle.

Le 34 - 36 W I M comprend :

- un corps pouvant être éventuellement réchauffé par circulation d'eau, la chambre de réchauffage étant placée le long du canal vertical du ralenti.

- une cuve à niveau constant, recevant la pompe de reprise à commande mécanique.

- le dessus de cuve, qui reçoit le volet de départ.

Circuit principal

Le gicleur principal G_g est noyé et alimenté directement depuis la cuve ; il débite dans le pulvérisateur S ; le puits du pulvérisateur est alimenté en air par le gicleur a. Le pulvérisateur assure l'automaticité et l'émulsion vient sortir dans l'étranglement du 2ème Venturi K_1 par l'orifice N

Ralenti et volet de départ

Le gicleur de ralenti g est alimenté en essence à partir du puits P du pulvérisateur. L'essence débitée par ce gicleur est émulsionnée par l'air venant du canal u et l'émulsion vient sortir par la

première sortie de ralenti qui débouche sur la tranche du papillon fermé, puis par la 2ème sortie en assurant la progression. La vis W permet le réglage de la richesse.

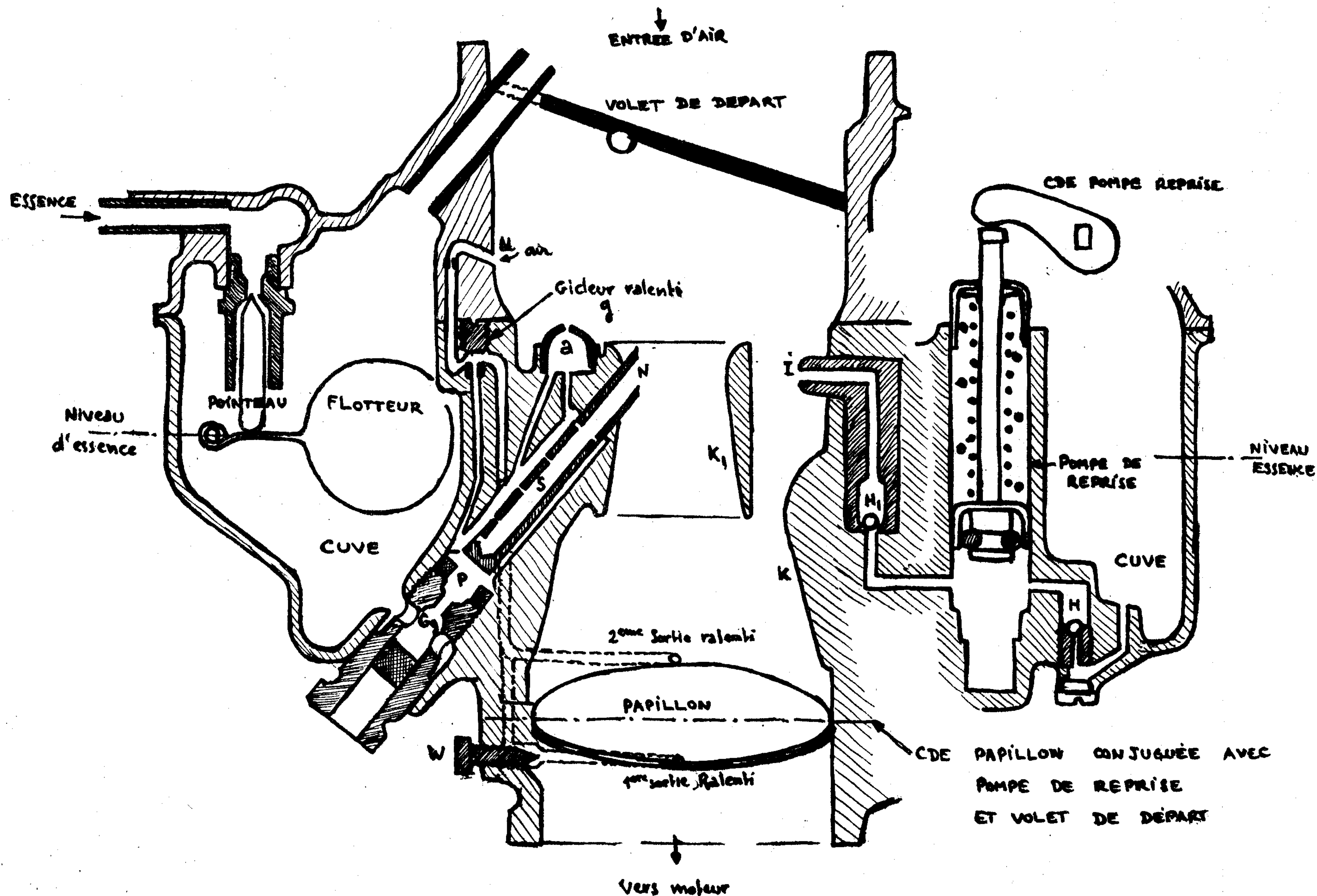
Pour assurer une richesse suffisante pour la mise en route avec moteur froid, on ferme le volet de départ, en assurant par conjugaison un entrebaillement du papillon des gaz ; la dépression sous le volet se trouve accrue et le circuit de ralenti débite davantage sous cette dépression augmentée.

Le volet est monté sur un axe excentré qui, en cas d'oubli, permet l'ouverture du volet sous l'effet de la dépression créée par le moteur.

Reprise

La pompe de reprise est alimentée depuis la cuve par le clapet H et elle refoule mécaniquement dans l'entrée d'air par l'intermédiaire du clapet H_1 et de l'injection I ; sa commande est conjuguée avec celle du papillon des gaz.

CARBURATEUR ZÉNITH 34.36 WIM (CITROEN ID 19).



DISPOSITIF ANTI POLLUTION

La Société Zénith a adopté un dispositif anti-pollution sur les carburateurs du type C D ; ces carburateurs fonctionnent suivant le principe de la dépression constante, la section de passage d'air au diffuseur et l'orifice du gicleur variant en fonction de rotation du moteur et de sa charge. Ils deviennent alors les C D S E.

Ce dispositif permet de fournir un mélange sec aux cylindres en évitant ainsi le dépôt de trainées de carburant liquide sur les parois de la tubulure d'admission, ce qui est la cause d'une émission excessive à l'échappement de C O et de C H. Pour réaliser le mélange sec dans la tubulure, il est nécessaire de faire passer le mélange d'origine dans une chambre de conditionnement chauffée.

Le système Zénith emploie donc une tubulure d'admission principale et une tubulure d'admission subsidiaire allant du carburateur au moteur. Cette dernière est reliée à la tubulure principale près du carburateur et conduit le mélange à une chambre de conditionnement chauffée par les gaz d'échappement ; elle revient ensuite à la tubulure principale, aussi près que possible des soupapes d'admission.

Deux papillons sont mis en circuit : un papillon primaire contrôle la tuyauterie subsidiaire, dont le débit est suffisant pour assurer le ralenti, l'accélération jusqu'à 80 km/h, la décélération et la croisière. Au delà, un système de biellettes ouvre le papillon secondaire et le mélange passe par la tuyauterie principale, mettant hors circuit le système primaire.

L'INJECTION DE CARBURANT

Les reproches à adresser aux carburateurs sont :

a) La difficulté d'obtenir une bonne pulvérisation et la nécessité de réchauffer pour effectuer la vaporisation - ce qui nécessite l'emploi de carburants trés volatils. De plus, le mélange chaud diminue la puissance et favorise la détonation.

b) Le danger de givrage, que le réchauffage n'arrive pas à éliminer complètement.

c) La difficulté d'assurer une richesse correcte à tous les régimes sans entrainer une certaine complexité.

d) L'hétérogénéité du mélange distribué aux cylindres, la richesse pouvant varier d'une façon importante d'un cylindre à l'autre.

e) L'impossibilité de stratifier le mélange en réalisant un mélange riche au voisinagede la bougie et pauvre ailleurs.

f) Le fait que le balayage du cylindre nécessite l'emploi d'air carburé d'où augmentation de la consommation.

L'injection directe dans le cylindre permet de remédier à ces inconvénients.

Elle permet également de lutter contre la détonation ; en effet, celle-ci est due à la décomposition brutale sous l'effet de la température et de la pression des peroxydes qui se forment pendant une partie seulement de la compression : il suffirait donc d'injecter le carburant assez tard pour que la période de formation des peroxydes soit passée :

Les gains obtenus par l'injection directe sont :

1°) alimentation identique de tous les cylindres = gain de puissance de 5 à 6 %.

2°) augmentation possible des sections de passage d'air = gain de puissance de 3 à 4 %.

3°) balayage sans perte de mélange carburé = gain de puissance de 5 à 10 %.

4°) stratification du mélange = baisse de consommation de 15 à 20 %.

Principe de fonctionnement.

En général, l'injecteur remplace simplement le carburateur et introduit le carburant dans le système d'admission au moment voulu. Une fois le carburant introduit, la compression, l'allumage et la détente s'effectue comme dans un moteur ordinaire.

L'injecteur devant donc fournir du carburant pendant une certaine partie de la course d'aspiration, est actionné mécaniquement par le moteur et est muni d'une sortie sous pression dans la tubulure d'admission de chaque cylindre. L'injection commence un moment après l'ouverture de la soupape d'admission (balayage par l'air d'admission avec croisement des soupapes) et se termine avant la fermeture de la soupape d'admission ; ce réglage est celui qui a donné la meilleure vaporisation et la distribution complète de la charge dans les cylindres.

Donc le système d'injection doit être réglé, comme la distribution et l'allumage.

D'autre part, pour assurer le fonctionnement du moteur entre le ralenti et la pleine charge, il faut contrôler la consommation d'air par un volet placé dans l'entrée-d'air - et la consommation de carburant en faisant varier la quantité de carburant injectée par la pompe de l'injecteur ; une conjugaison entre les deux commandes assure la richesse correcte à tous les régimes et un réglage du point de conjugaison permet le contrôle du mélange.

Dans les installations réalisées sur des avions de chasse américains, l'appareillage comprend :

- une pompe à carburant du type courant fournissent l'essence à 250 g / cm2.

- une pompe d'injection élevant la pression à des valeurs comprises entre 5 et 20 kg.

- des injecteurs montés à la partie inférieure des tuyauteries d'admission et qui ne débitent que sous l'effet de la pression due à la pompe d'injection.

INJECTION D'ESSENCE

SYSTEME BENDIX - STROMBERG

(Sur moteur Wright 18 cyl.)

L'ensemble comprend :

1°) - Master control

2°) - Pompe d'injection pour chaque étoile de cylindre

3°) - Système de conjugaison

4°) - Canalisations d'injection

5°) - Injecteurs

Le master control mesure la masse d'air admis dans le moteur et contrôle les pompes d'injection de façon à obtenir le débit d'essence correspondant au débit d'air.

L'essence pénètre dans le master control et après avoir été calibrée par un système de gicleurs, elle est envoyée à chaque pompe à injection par des canalisations extérieures. Les corps de papillons sont les mêmes que ceux utilisés dans les carburateurs.

Les pompes à injection sont placées de chaque côté de la section arrière du moteur, juste à côté du master control. Les deux pompes contiennent chacune 9 pistons plongeurs qui envoient l'essence à un cylindre.

Le système de conjugaison est monté entre les deux pompes et est commandé par le master control ; cette tringlerie transmet la force de contrôle depuis le master control , jusqu'aux pompes à injection et en même temps, synchronise ces pompes.

Des canalisations en acier transportent l'essence depuis l'adapteur de pompe à injection jusqu'à chaque cylindre ; l'essence passe de la pompe à l'adapteur par les boulons creux du montage de l'adapteur.

L'injecteur possède un petit clapet coulissant dans un guide et reposant sur un siège. L'ensemble est monté sur un emplacement spécial prévu sur chaque cylindre.

Sur un moteur à injection, un filtre à essence doit être monté ; ce filtre doit être installé aussi près que possible du moteur; il en résulte une longueur minimum de canalisation après le filtre et par suite moins de risque de contamination. Le filtrage de l'essence est une absolue nécessité car tout corps étranger qui pénètre dans la pompe provoque la rayure ou le grippage des pistons plongeurs.

Le solénoïde d'injection de départ prévu sur le master control possède la particularité de pouvoir recevoir une canalisation extérieure d'entrée. En modifiant le système d'injection de départ, en bouchant l'orifice normal d'entrée de l'essence non calibrée, et en enlevant le bouchon de la canalisation extérieure d'entrée d'essence, un fluide spécial de démarrage peut être utilisé.

Le système possède les avantages suivants :

1°) économie d'essence ;

2°) réduction de la température des culasses ;

3°) réduction du refroidissement nécessaire à un bon fonctionnement ;

4°) le système de calibrage n'est pas sensible à la volatilité de l'essence ;

5°) d'autres avantages tel que :

- absence de retours
- diminution du risque de givrage
- diminution du risque d'incendie
- départ plus facile, fonctionnement plus régulier.

A) - " <u>Master Control</u> ".

Le " master control " de ce système est essentiellement le carburateur stromberg P R. 58 A I dont la pompe de reprise et l'injecteur avec sa canalisation seraient enlevés de l'adapteur.

B) - <u>Pompes d'injection</u>.

La position du levier de contrôle de capacité est la seule différence entre les pompes droite et gauche ; les pompes sont interchangeables à condition de retourner l'arbre du levier de contrôle.

L'essence est envoyée à l'étoile avant par la pompe droite et la pompe gauche envoie l'essence à l'étoile arrière.

La pompe d'injection comprend 9 pistons plongeurs et 9 cylindres, assemblés en cercle, les axes longitudinaux étant parallèles et un arbre de commande placé au centre du cercle formé par les plongeurs. Une plaque fixée sur cet arbre et inclinée par rapport à l'axe, commande les plongeurs et les enfonce successivement dans les cylindres. Un ressort à boudin monté sur chaque plongeur rappelle celui-ci dans la position où se fait l'admission d'essence dans le cylindre du plongeur ; il n'y a pas de commande mécanique pour ce mouvement de sorte que si un plongeur grippe, il n'empêche pas les autres de fonctionner.

Le plongeur est percé suivant son axe et aussi radialement depuis l'extérieur jusqu'au canal central. Un manchon qui s'adapte sur le plongeur permet le contrôle de la quantité d'essence débitée pour chaque course de chaque plongeur. Le manchon de chaque plongeur s'adapte dans une couronne porte-manchons qui est reliée mécaniquement à un diaphragme.

La dépression du petit Venturi s'exerce sur un côté de la membrane et la pression d'injection sur l'autre côté, lorsque ces pressions varient, le diaphragme se déforme vers l'arrière ou vers l'avant en agissant ainsi sur le ressort à boudin et règle l'arrivée d'essence aux plongeurs et de la sorte, au moteur.

Un réglage individuel de chaque manchon par rapport à la couronne porte manchons permet un réglage individuel du débit d'essence de chaque plongeur.

L'essence pénètre dans chaque pompe à travers un filtre tamis en bronze et un dégazeur. Lorsque le manchon découvre le trou percé dans le plongeur, l'essence pénètre dans le cylindre du plongeur par ce trou d'admission ; lorsque le plongeur s'enfonce dans le cylindre, l'essence ressort du cylindre du plongeur par le canal central et le trou précédent jusqu'à ce que le manchon couvre celui-ci. L'essence est alors envoyée sous pression dans le cylindre du moteur jusqu'à ce qu'un 2ème trou percé dans le plongeur et communiquant avec le canal central vienne en concordance avec un orifice percé dans la paroi du cylindre du plongeur.

Le dernier passage est toujours ouvert pour la même position du plongeur. La quantité d'essence pompée par chaque plongeur par course, est donc contrôlée en faisant coulisser le manchon en arrière ou en avant sur le plongeur : on fait varier le début de l'injection et par suite la quantité d'essence injectée.

L'huile de graissage rentre dans la pompe par un trou percé dans le flasque de montage, graisse les diverses bagues, les têtes des plongeurs et retourne au moteur à travers les roulements de l'arbre principal.

Un arbre conjugant les leviers des arbres de contrôle de capacité des pompes, synchronise les deux pompes. Cette synchronisation est essentielle puisque chaque pompe alimente une étoile.

La tringle de synchronisation doit être installée de la façon suivante :

Mettre le levier de contrôle de la pompe droite en butée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (vu de l'arrière) le levier de la pompe gauche est déplacé doucement dans le sens des aiguilles d'une montre depuis sa position de butée jusqu'à ce qu'on puisse engager l'articulation. Ceci éliminera tout battement qui peut aller de 0,076 à 0,254 m / m, mesuré à l'extrémité du bras.

Il est important de remarquer que la tringle doit être installée de telle façon qu'il n'y ait pas de battement, et ceci ne peut être obtenu qu'en déplaçant soigneusement le bras de la pompe gauche dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que tout jeu soit annulé. Si ceci n'était pas fait, il en résulterait des inégalités

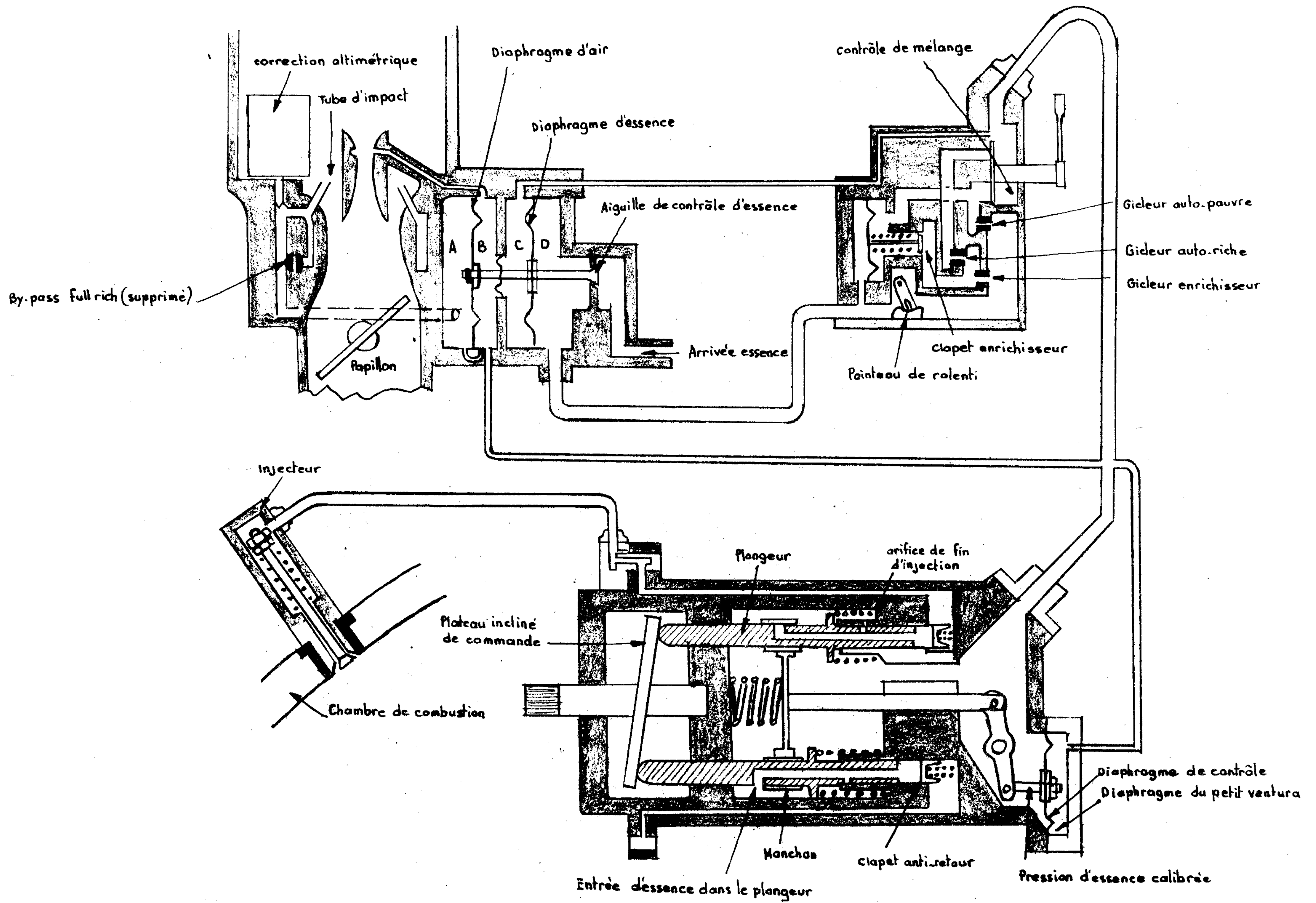
dans l'alimentation.

Ce procédé est le meilleur puisque le tarage du ressort de la pompe droite est plus faible que celui de la pompe gauche.

Le réglage de la tringle est fait par le constructeur et aucun réglage n'est nécessaire pour le montage. Il est important de noter qu'on ne doit changer la tringle qu'après avoir soigneusement étudié les incidents de fonctionnement ; un changement de tringle doit être considéré comme aussi sérieux qu'un changement de gicleur dans un carburateur.

C) - Injecteur.

L'injecteur Bendix comprend un clapet à ressort taré, l'angle de la portée étant de 30° ; le raccord d'entrée au sommet de l'injecteur possède un joint en biseau qui peut être serré par un bouchon présentant également une portée en biseau et en travers duquel passe la canalisation, ce qui réalise l'étanchéité.



INJECTION D'ESSENCE
BENDIX STROMBERG

POMPES "PESCO"

Les pompes à essence "Pesco" sont du type rotatif à 4 palettes : un axe flottant maintient celles-ci appliquées contre le corps de pompe aux faibles vitesses de rotation, tandis que la force centrifuge y suffit aux allures plus élevées.

Le rotor est accouplé à l'entrainement par un emmanchement à tournevis et l'étanchéité autour de l'arbre est assurée par un joint plastique soumis à la pression d'un ressort. L'arbre d'entrainement se termine par un carré standard ou un accouplement à 11 cannelures.

Clapet de surpression.

Une des caractéristiques principales de la pompe est son clapet de surpression.

Il comprend un clapet relié à un diaphragme ; le clapet est appliqué sur son siège par un ressort dont la tension est réglable. Une face du diaphragme est soumise à la pression du côté aspiration de la pompe, l'autre face est soumise à la pression d'air du carburateur, ce qui assure la compensation de la pompe ; la pression de refoulement agit sous le clapet. Le clapet possède enfin une tige guide qui sert également de dispositif amortisseur de vibrations.

Quand le clapet se soulève, le refoulement et l'aspiration de la pompe sont court-circuités.

Clapet by-pass.

Toutes les pompes avec clapet de supression sont munies d'un by-pass permettant à l'essence de s'écouler lorsque la pompe n'est pas utilisée ou qu'on emploie une pompe à main ou électrique.

A) - Pompe type " D "

Désignation appliquée à toutes les pompes avec clapet

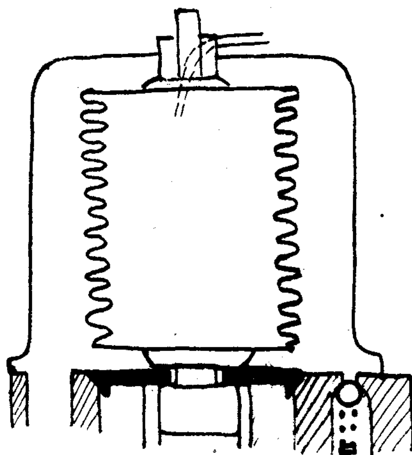
à diaphragme. Le clapet d'excès de pression fonctionne comme un clapet by-pass, la pression de l'essence envoyée par la booster-pump à l'aspiration agissant sur le diaphragme et faisant ouvrir le clapet. Un clapet by-pass auxiliaire, destiné à augmenter la pression sur la 2ème face du clapet, facilite l'action du diaphragme lors de l'ouverture du clapet de surpression.

B) - Type " S A "

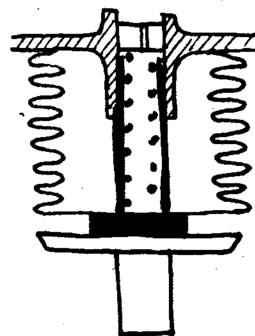
Le clapet de surpression est relié à un piston élastique. La compression de ce piston entraine l'ouverture du clapet ; l'essence qui allait vers le refoulement en passant par des bi-pass à bille, trouve alors une section de passage plus grande et il en résulte une chute de pression.

C) - Type " S "

Il n'existe plus de liaison fixe entre le clapet et le piston élastique, qui repose simplement sur le clapet.



Type S-A

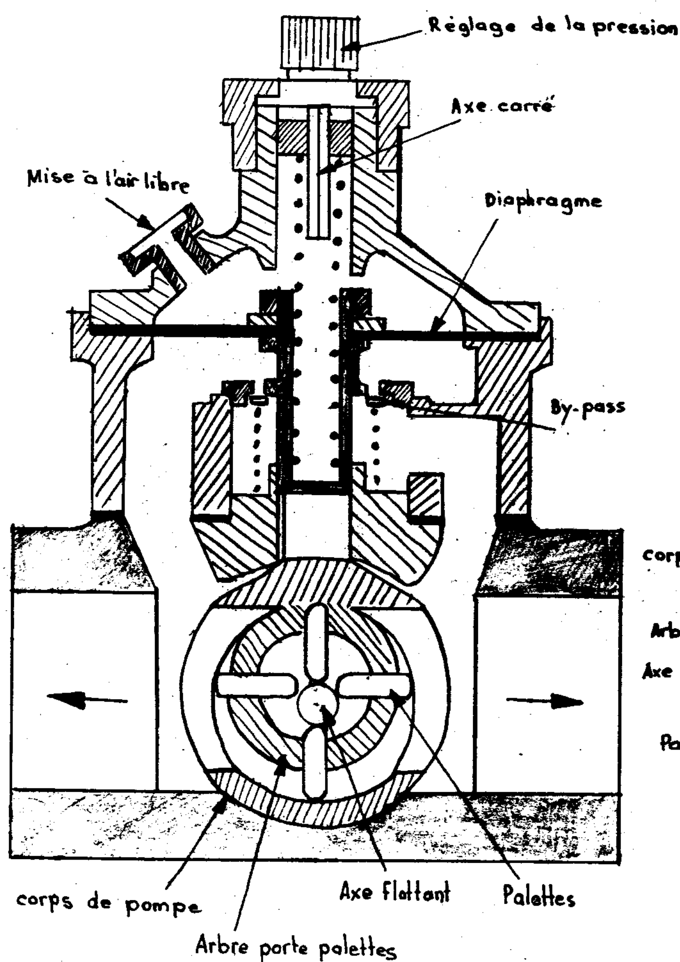


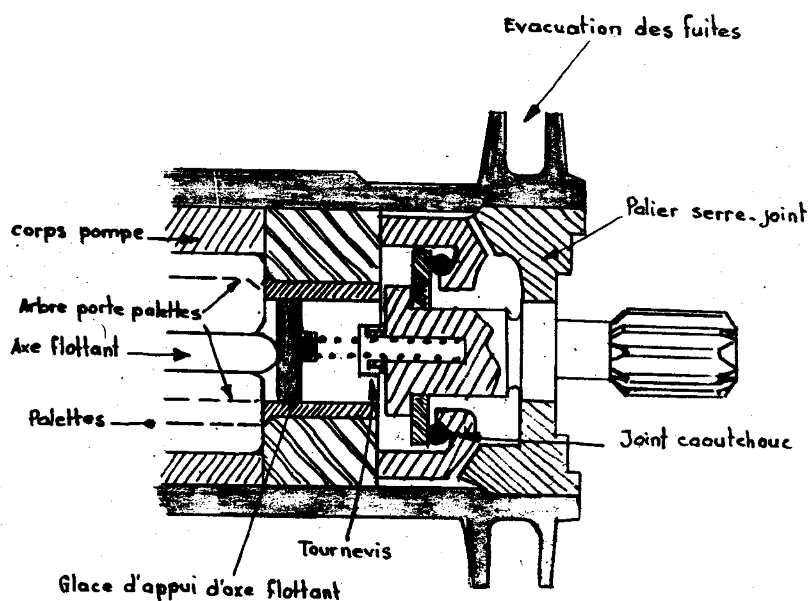
Type S

P O M P E " T I T A N "

Dans son principe, cette pompe est identique à la pompe " Pesco " et ne diffère que par quelques détails comme la réalisation du clapet bi-pass et l'entrainement.

Il conviendra donc de se reporter à cette pompe type " D ".





COUPE DE L'ENTRAINEMENT

C H A P I T R E X

A L L U M A G E

L'ALLUMAGE

L'allumage est la fonction par laquelle est provoquée, à un instant fixé, l'explosion du mélange comprimé dans le cylindre ; le mode d'allumage utilisé est l'étincelle électrique.

Il faut donc avoir un générateur d'électricité fournissant à chaque instant la quantité d'électricité nécessaire. De plus, pour faire jaillir une étincelle entre 2 pointes écartées de 1 m / m il faut :

1°) - une ddp de 1000^V dans l'air.

2°) - une ddp de 10.000 à 20.000^V dans le mélange comprimé à 8 ou 10 kgs.

Or l'intensité du courant utilisé joue un rôle secondaire et par suite on emploie des intensités faible pour ne pas mettre en jeu des puissances trop grandes et par suite, dangereuses.

On fait donc éclater les étincelles entre 2 pointes mais il ne peut être question d'utiliser un courant continu à haut voltage, un tel courant déterminant des étincelles éclatant de façon continue et nous savons que l'allumage doit être effectué à un moment précis et réglable. On ne doit donc produire le courant à haute tension qu'à l'instant précis où l'étincelle doit éclater ; il est évident d'ailleurs qu'il ne sera pas produit une étincelle unique mais une série de décharges oscillantes, le courant produit ayant une durée appréciable même si son voltage est variable ; cette série d'étincelles ne peut d'ailleurs que favoriser la combustion en augmentant la chaleur développée.

Ce courant à H. T et faible intensité est obtenu pratiquement par la magnéto haute tension.

Magnéto à haute tension.

A) - Nous savons que toute variation de flux dans un solénoïde engendre dans les spires de celui-ci un courant induit dont la f. e. m sera d'autant plus grande :

1°) - que la variation de flux est plus grande.

2°) - que la variation de flux est plus rapide.

3°) - que le nombre de spires est plus élevé.

La magnéto H. T est basée sur cette loi ; on y trouve d'une façon générale :

- un champ magnétique inducteur produit par des aimants permanents ; les variations du flux sont obtenues en faisant tourner les aimants (voir magnétos S E V 160 - B G - Scintilla Bendix), ou par un inverseur de flux alors que les aimants sont fixes (voir magnétos R. B, Bosch).

- ce flux variable est utilisé pour la production d'un courant induit de faible tension dans un enroulement circuit primaire.

Ce circuit est donc parcouru par un courant induit qui est coupé par un rupteur.

- les variations brutales de flux dues à la rupture du courant primaire produisent dans un 2ème enroulement appelé secondaire, comportant un grand nombre de spires, un courant H. T appelé courant secondaire. Ce courant est envoyé aux bougies.

B) - Fonctionnement.

Nous allons étudier le fonctionnement d'une magnéto H. T, par exemple d'une magnéto à aimant tournant à 4 poles (voir figures ci-jointes), dont la bobine est montée sur une armature comportant des épanouissements à 90°.

a) - Position 1 - L'aimant occupe une position intermédiaire entre les 2 armatures. Aucun flux ne traverse la bobine.

b) - Position 2 - L'aimant a tourné de 45° et les poles sont en face des épanouissements. La bobine est traversée par un flux maximum.

c) - Position 3 - L'aimant a tourné encore de 45° et a repris une position identique à 1. Pas de flux dans la bobine.

d) - Position 4 - Identique à 2, mais les polarités étant renversées, la bobine est traversée par un flux maximum de sens contraire à 2.

e) - Position 5 - Identique à 1 et 3. Pas de flux dans la bobine.

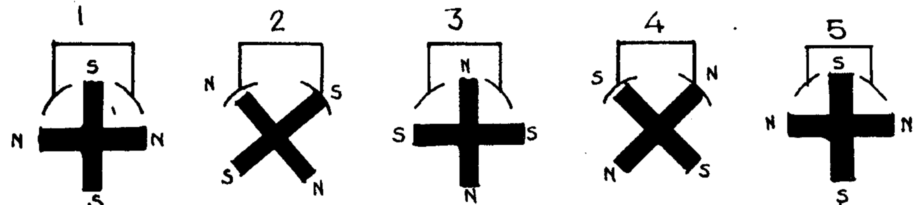
Nous pouvons donc tracer la courbe représentant la variation du flux en portant en abscisses les angles de rotation et en ordonnées les valeurs du flux ; nous remarquerons aussi que, au voisinage des positions 2 et 4, le flux a sensiblement la même valeur que pour les positions exactes 2 et 4 et ceci tant que les poles n'auront pas quitté franchement les épanouissements de l'induit ; la courbe est donc sensiblement plate dans ses sommets.

Pendant 1 tour complet, on a donc 4 maxima ou minima de flux et par suite 4 variations de flux.

C) - Courant primaire.

Si on suppose l'enroulement primaire en court circuit (vis platinées collées par exemple) les variations de flux dans l'armature engendrent un courant induit alternatif dans le primaire. La force électromotrice de ce courant induit sera

$$E_p = 10^{-8} \frac{d\phi}{d_t} \times n_p$$



cas d'une magnéto à aimant 4 poles tournant

F.E.M
Intensité
Flux

0 $\frac{\pi}{4}$ $\frac{\pi}{2}$ $\frac{3\pi}{4}$ π $\frac{5\pi}{4}$ $\frac{3\pi}{2}$ $\frac{7\pi}{4}$ 2π

1 2 3 4 5

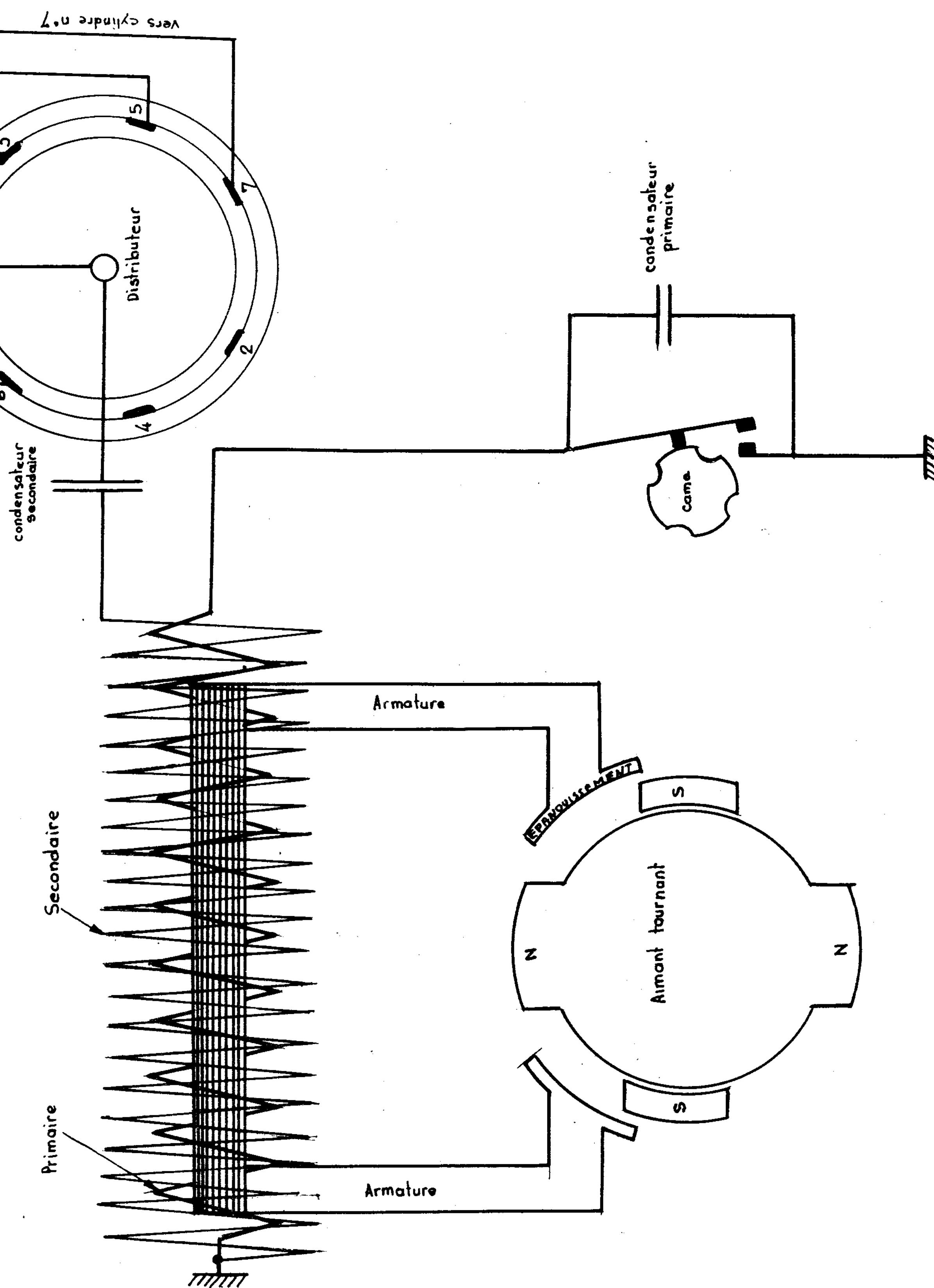


Schéma d'une magnéto H.T (aimant tournant à 4 pôles)

avec E en volts. ϕ en maxwells (wb), n_p = nombre de spires du primaire, le signe - caractérisant le fait que le courant induit tend à s'opposer à la cause qui lui donne naissance en créant un courant de self induction qui se superpose au premier et contrarie ses variations. Tout se passe comme si le circuit présentait une certaine inertie électrique.

Par suite, le courant primaire ne s'établit pas immédiatement avec l'intensité qu'il aurait si le circuit ne présentait pas de self- induction ; il en résulte que l'intensité est légèrement en retard sur la force électromotrice.

Le terme $\frac{L}{R_p}$, L étant la valeur de la self et R_p la résistance du primaire, s'appelle la constante de temps.

D) - <u>Courant secondaire</u>.

Le circuit primaire étant coupé par le rupteur commandé par la came, il s'annule brusquement, ainsi que le flux ϕ. Il y a donc variation de flux dans l'enroulement secondaire et il nait un courant induit à haute tension dont la force électromotrice sera d'autant plus élevée que la variation de flux sera plus grande et plus rapide, et que le nombre de spires du secondaire sera plus grand.

$$E_s = - n_s \frac{d\phi}{dt}$$

A pertes nulles, la puissance du primaire = celle du secondaire. Si donc E_s est K fois plus grande que la tension primaire, l'intensité secondaire sera K fois plus petite que l'intensité primaire.

On a donc comme ordre de grandeur :

E_p = 10 à 20 volts — E_s = 10.000 à 20.000 volts

I_p = 1 à 2 ampères — I_s = 1/1000 à 2/1000 d'ampère

Au moment de la production de ce courant à H. T, la pointe de disrupture du distributeur doit être sur le plot correspondant à la bougie du cylindre que l'on veut allumer, le courant secondaire se ferme par une étincelle à la bougie.

E) - Réaction du secondaire sur le primaire.

Ainsi le circuit secondaire n'est fermé qu'au moment du passage de l'étincelle à la bougie ; la durée de cette étincelle n'est pas négligeable. Pendant ce court instant, l'aimant a tourné et le flux a varié ; cette variation de flux R qui engendre le courant primaire I_p va en même temps engendrer un courant induit I'_s dans le secondaire qui se trouve fermé par l'étincelle.

Le secondaire est donc le siège de 2 courants : l'un à haute tension I_s dû à la rupture du primaire ; l'autre de tension beaucoup moins élevée I'_s dû à la rotation de l'aimant pendant le passage de l'étincelle. Ce 2ème courant renforce et prolonge l'étincelle secondaire et a par suite une heureuse influence sur l'allumage.

Néanmoins, il a une influence néfaste dans certains cas.

Supposons en effet qu'à un moment donné, le primaire et le secondaire soient tous deux ensemble en circuit fermé (par exemple l'étincelle n'est pas éteinte quand le rupteur se ferme).

La variation de flux ϕ dans l'armature donne naissance aux courants I_p et I'_s ; ces 2 courants vont tendre à s'opposer à la cause qui les engendre en créant chacun un flux antagoniste qui s'opposera à l'augmentation du flux de l'aimant dans l'armature.

Supposons que le circuit secondaire soit brusquement coupé (par exemple le porte-balai rotatif du distributeur quitte le plot). Le courant induit qui circulait dans le secondaire s'annule brusquement ainsi que le flux antagoniste qu'il créait. Cette diminution rapide de flux donne naissance à un nouveau courant induit dans le primaire, lequel courant induit s'opposera à la diminution du flux. Dans l'enroulement primaire circule donc :

1°) - le courant induit normal I_p qui tend à s'opposer

à l'augmentation du flux dans l'armature et qui résulte de la rotation de l'aimant.

2°) - le courant induit résultant de la coupure brusque du secondaire et qui tend à s'opposer à la diminution du flux dans l'induit. Ce courant est évidemment de sens contraire au précédent. Par conséquent, le courant primaire va être diminué et retardé dans son établissement ; or ce même courant doit, à la rupture suivante, engendrer un courant à haute tension dans le secondaire. Son intensité étant diminuée, il peut arriver qu'elle soit trop faible au moment de la rupture pour donner un courant secondaire de tension suffisante pour produire une étincelle à la bougie : on a un raté d'allumage. Cette étincelle n'ayant pas jailli ou étant très réduite, le secondaire n'ayant pas alors été court-circuité assez longtemps pour l'être en même temps que le primaire, la troisième étincelle sera normale.

En résumé, une étincelle sur 2 sera réduite ou annulée.

Ces phénomènes peuvent se produire quand :

1°) - le rupteur se ferme trop tôt, par écartement insuffisant des vis platinées.

2°) - la magnéto tourne plus vite, la durée de l'étincelle prenant relativement d'autant plus d'importance que la magnéto tourne plus vite.

3°) - une bougie est encrassée : en effet, pour éviter la production d'une étincelle de self-induction entre le balai rotatif et les plots du distributeur en marche normale, on a l'habitude de régler ce balai de manière qu'il soit encore sur la plot quand l'étincelle s'éteint à la bougie, le rupteur étant alors fermé. Si une bougie est encrassée, elle est en court-circuit de telle sorte que le secondaire se trouve coupé seulement au moment où le balai rotatif du distributeur quitte le plot. Le rupteur étant fermé comme on vient de voir, les phénomènes de réaction du secondaire sur le primaire se produisent.

F) - Rôle des différents organes employés.

1°) - Circuit primaire.

a) <u>came et rupteur</u>. La came est l'organe charge de commander mécaniquement la coupure du primaire par l'intermédiaire du rupteur, à des instants bien déterminés. Elle peut être montée :

1°) en bout du rotor : elle devra alors comporter autant de bossages que la magnéto peut fournir d'étincelles par tour, et tous les bossages seront régulièrement espacés puisque les maxima du courant primaire le sont aussi et que chaque bossage est appelé à provoquer une rupture pour un cylindre quelconque.

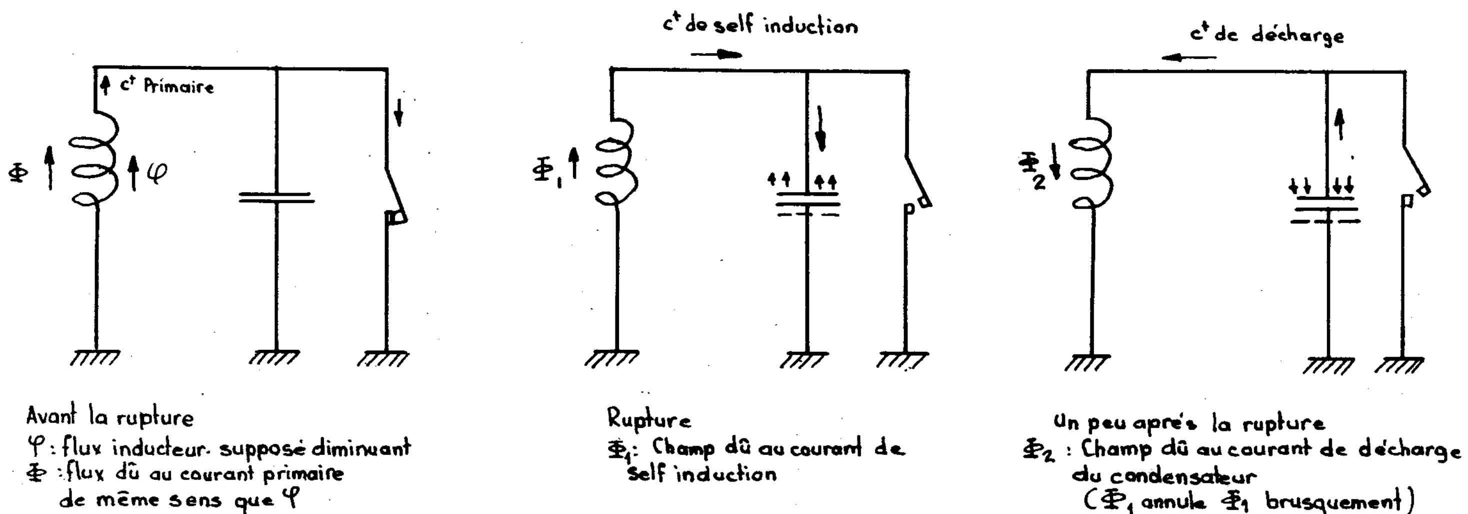
2°) en bout du distributeur, auquel cas elle tourne à 1 / 2 vitesse du moteur. Elle comportera alors autant de bossages que le moteur a de cylindres et chaque bossage allumera toujours le même cylindre. On pourra donc reproduire sur la came les différents intervalles angulaires entre les P. M . H , intervalles inégaux dans les moteurs en étoile ; on aura ainsi une came dissymétrique, ou compensée, qui permettra d'allumer chaque cylindre avec exactement la même avance. Il faudra alors repérer sur la came le bossage correspondant au cylindre n° 1 afin que la came soit toujours en correspondance exacte avec le moteur . La came actionne le rupteur, dont les différents types seront vus avec les magnétos.

b) <u>condensateur primaire</u>. Nous avonsvu que le circuit primaire constituait une bobine de self ; lorsque le rupteur est fermé, un courant d'intensité I_p circule dans l'enroulement primaire et engendre un flux magnétique Φ Au moment où I_p et par suite Φ sont maxima, nous écartons brusquement les vis platinées ; le flux passe donc de sa valeur maximum à sa valeur minimum et nous avons par conséquent création d'un courant particulièrement intense ; ce nouveau courant tend à s'opposer à la variation de flux et par suite à la variation du courant primaire : il le prolongera. C'est l'extra-courant de rupture. Le circuit électrique étant coupé au moment où il se produit il ne pourra circuler qu'en passant par une étincelle aux vis platinées : c'est l'étincelle de rupture. Celle-ci :

1°) détériore les contacts du rupteur en volatilisant le métal.

2°) permet au courant de self induction de circuler dans l'enroulement primaire ; s'opposant à la variation de flux, il prolonge le temps de cette variation dans le noyau de l'induit ce qui est désavantageux pour la production du courant secondaire On dispose donc un condensateur en dérivation sur les vis platinées. Du fait de la rupture, le condensateur est mis en série dans le circuit primaire et il est chargé par l'extra courant de rupture.

Lorsque le condensateur est chargé, le courant de self induction est absorbé. Aucune f. e. m dans le circuit primaire ne faisant opposition à la d. d. p existant entre les armatures du condensateur, celui-ci se décharge dans le primaire en donnant un courant de sens inverse à celui qui l'a chargé. Ce courant de décharge tend donc à créer un flux de sens contraire au flux qui a donné naissance au courant primaire ; il annule donc le flux dans le noyau de l'induit en un temps très court, d'où renforcement de la tension au secondaire.



c) contact. Pour arrêter le moteur, il faut pouvoir couper l'allumage. Pour cela, on réunit le primaire à la masse par l'intermédiaire d'un commutateur. La rupture est alors sans effet.

Le contact comporte généralement 2 bornes de façon à pouvoir couper séparément les 2 magnétos afin de les sélectionner.

2°) - Circuit secondaire.

a) parafoudre. Il peut arriver pour une raison quelconque que la résistance au passage du secondaire soit trop grande à

la bougie. Cette étincelle se produira donc au point où la résistance sera la plus faible, par exemple entre le secondaire et la masse, ou entre les 2 couches de spires de la bobine : l'induit sera détérioré.

Pour éviter cet incident, on dispose un parafoudre de manière que la résistance au passage de l'étincelle en cet endroit soit très légèrement supérieure à la résistance entre les pointes de la bougie normalement écartées. Si donc l'étincelle ne peut s'établir à la bougie, elle se produira sans incident au parafoudre. Les pointes du parafoudre seront écartées d'environ 10 à 14 m / m.

Mais le parafoudre a dû être supprimé avec l'emploi des moteurs à compresseur rétablissant à haute altitude. En effet, la pression en fin de compression reste constante en dessous de l'altitude critique alors que la pression atmosphérique diminue ; la résistance au passage de l'étincelle entre les pointes de la bougie sera donc constante alors qu'elle diminuera au parafoudre. En altitude, l'étincelle jaillirait donc au parafoudre.

La suppression a été rendue possible par l'emploi de bobines parfaitement isolées par des résines synthétiques qui les imprègnent.

b) <u>condensateur</u>. Sur certaines magnétos on trouve un condensateur en série dans le secondaire. Le secondaire se présente dès lors comme un circuit résistance-self-capacité en série, circuit dont l'impédance est :

$$z = \sqrt{R^2 + \left(l\omega - \frac{1}{c\omega} \right)^2}$$

Pour une fréquence donnée, fréquence qui sera celle du courant secondaire, on choisira un condensateur tel que :

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}$$

et le circuit se comportera comme s'il était constitué seulement par une résistance pure. Les effets de la self et de la capacité se com-

pensent exactement.

En d'autres termes :

- une self décale l'intensité en arrière sur la tension.

- un condensateur décale l'intensité en avance sur la tension.

- la combinaison en série de la self et de la capacité permet de ramener le décalage à 0 : l'étincelle au secondaire bénéficie donc du maximum d'intensité en même temps que du maximum de tension.

c) <u>distributeur</u>. Il comprend essentiellement 2 parties :

- un boitier fixe, en matière isolante, dans lequel sont noyés des plots métalliques auxquels viennent se raccorder les fils de chaque cylindre.

- un porte-balai rotatif, portant un plot de marche alimenté en courant secondaire H. T - et, éventuellement, un plot de départ alimenté par une couronne séparée recevant le courant fourni par une magnéto de départ.

M A G N E T O   B E N D I X - S C I N T I L L A

S F 14 L N 3

Les moteurs Pratt et Whitney R 1830 du D C 3 et R 2000 du D C 4 sont équipés de magnétos Bendix Scintilla.

Ces magnétos comprennent :

- un aimant rotatif à 8 poles ; cet aimant tourne sur 2 roulements à billes.

- une came de rupteur à 14 lobes, entrainée à la 1 / 2 vitesse du vilebrequin.par un train d'engrenages côté rupteur, donnant un rapport de réduction de 4 / 7. La magnéto étant elle-même entrainée au 7 / 8 de la vitesse du vilebrequin, la vitesse de rotation de la came est donc :

$$\frac{7}{8} \times \frac{4}{7} = \frac{1}{2} \text{ Vitesse du vilebrequin}$$

Le rapport des pignons d'entrainement du distributeur étant aussi 4 / 7, le distributeur tourne donc à 1 / 2 vitesse du moteur.

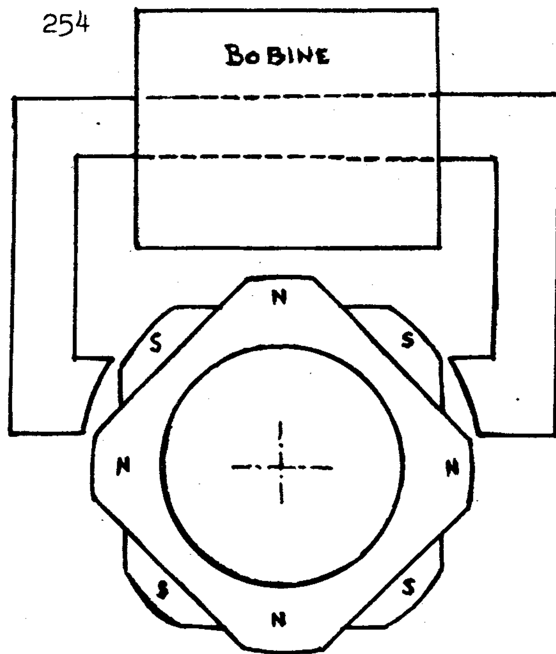
En raison des différences entre les P M H de chaque cylindre, la came n'est pas symétrique et par suite le bossage du cylindre 1 est repéré

- une bobine fortement isolée

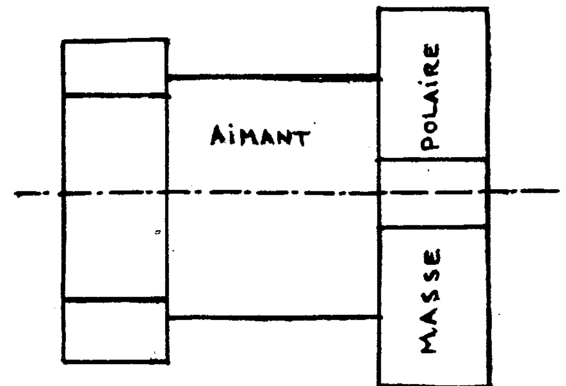
- un rupteur

- un condensateur primaire

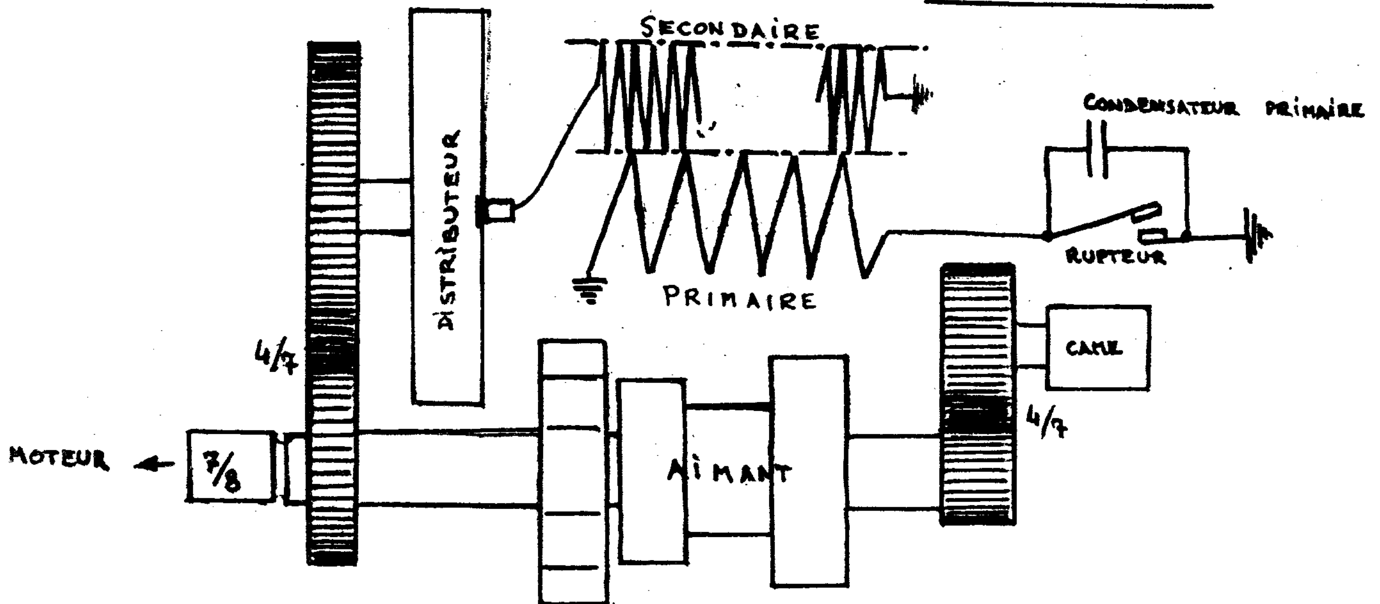
- et, à l'origine, un condensateur secondaire logé dans le doigt du distributeur.



CIRCUIT MAGNÉTIQUE



SCHEMA D'ENSEMBLE



Par suite de l'amélioration de l'isolement de la bobine, ce dernier condensateur a pu être supprimé par la suite .

M A G N E T O S   S E V   1 6 0   &   1 6 1

Ces magnétos sont montées sur les moteurs Renault 6 Q.

La magnéto gauche (vue de l'A V.) du type 161 comprend un dispositif à déclic qui facilite le lancement du moteur et supprime la magnéto de départ.

DESCRIPTION GENERALE -

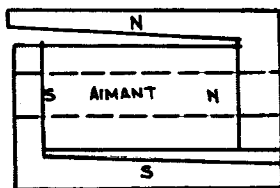
Cette magnéto S E V est du type à induit fixe et aimant tournant, donnant 2 étincelles par tour.

a) - rotor. Il est composé essentiellement des organes suivants :

- axe de commande
- pignon de distribution
- régulateur d'avance
- aimant
- came de rupture

l'ensemble se trouvant sur le même axe de rotation.

L'aimant est de forme cylindrique tubulaire et est muni de 2 épanouissements répartissant le flux.



En bout de l'arbre de l'aimant se trouve la came, à 2 bossages.

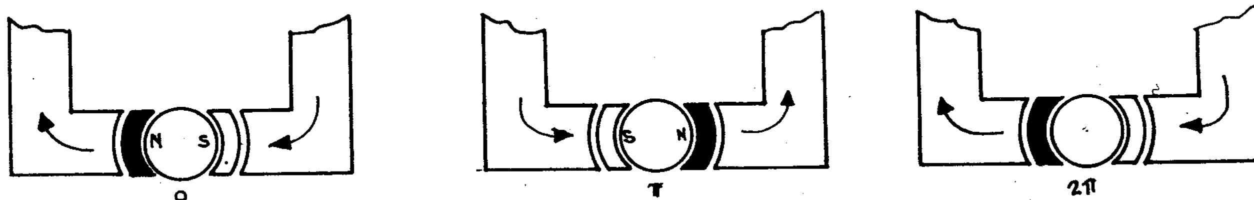
Cet ensemble peut tourner sur l'arbre de commande de la magné-

to, l'entrainement se faisant par les masses d'avance automatique.

Ce régulateur d'avance est constitué par 2 faisceaux de masses oscillant autour de 2 axes solidaires de l'entrainement de la magnéto, rappelées par des ressorts. Elles entrainent par les rampes de leurs extrémités des prolongements cylindriques solidaires de l'un des épanouissements de l'aimant. Le décalage possible est de 27°30' ; comme la came est fixe par rapport à l'aimant, la rupture se produit toujours au moment le plus favorable.

b) - Circuit magnétique. Il comprend une armature comportant 2 épanouissements à 180°, sur laquelle est montée la bobine.

Nous constatons d'après les schémas que le flux est maximum dans la bobine 2 fois par tour, donc la magnéto fournira 2 étincelles par tour.



c) - rupteur. Du système classique à pivot, le rupteur est protégé contre les projections d'huile de la came. Les deux contacts sont en platine iridié ou en tungstène.

Pour leur entretien, on se sert d'une lime douce ou, pour les contacts en tungstène, d'une pierre abrasive.

d) - distributeur. La distribution est assuré par un porte-contacts rotatif, à disrupture. Sur l'engrenage du distributeur, on trouve un parafoudre.

e) - Le lanceur. Ce dispositif est monté sur la magnéto gauche, vu de l' A V (moteur Renault).

Il comprend une douille entrainée par le moteur, reliée à l'axe de la magnéto par un ressort ; sur cet axe est claveté un plateau portant 2 cliquets, dont la queue bute au démarrage contre un épaulement du boitier fixe ; en butée, l'axe de la magnéto est immobilisé et le ressort se bande. La douille présente 2 segments qui dégagent alors les cliquets de la butée ; le ressort se détend brusquement entrainant la magnéto à vitesse élevée, jusqu'au moment où le 2ème cliquet vient en butée. etc.....

Lorsque le moteur tourne, les cliquets s'effacent sous l'action de la force centrifuge et le système fonctionne alors comme un entrainement élastique.

Calage -

Le calage se fait toujours en mettant la magnéto pleine avance, en agissant par un tournevis à créneaux sur l'écrou de came.

La magnéto est amenée en position d'allumage de 1 en amenant en face du regard le repère (1) du distributeur.

Le calage peut aussi être fait plein retard en tenant compte du décalage dû à l'avance automatique.

Bobine

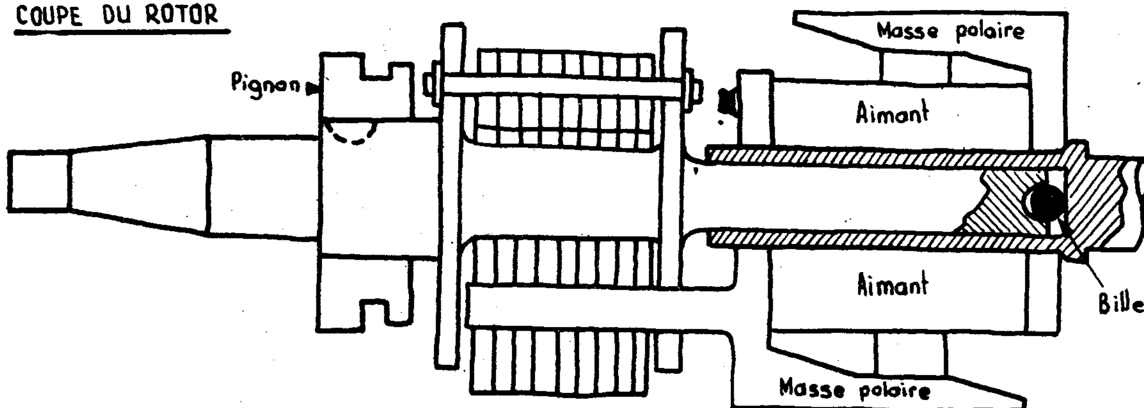
condensateur

Ressort de rappel des masses d'avance

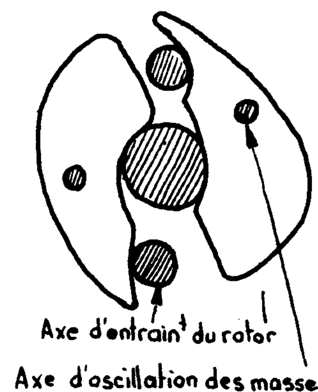
Armure de l'enduit

Masses d'avance

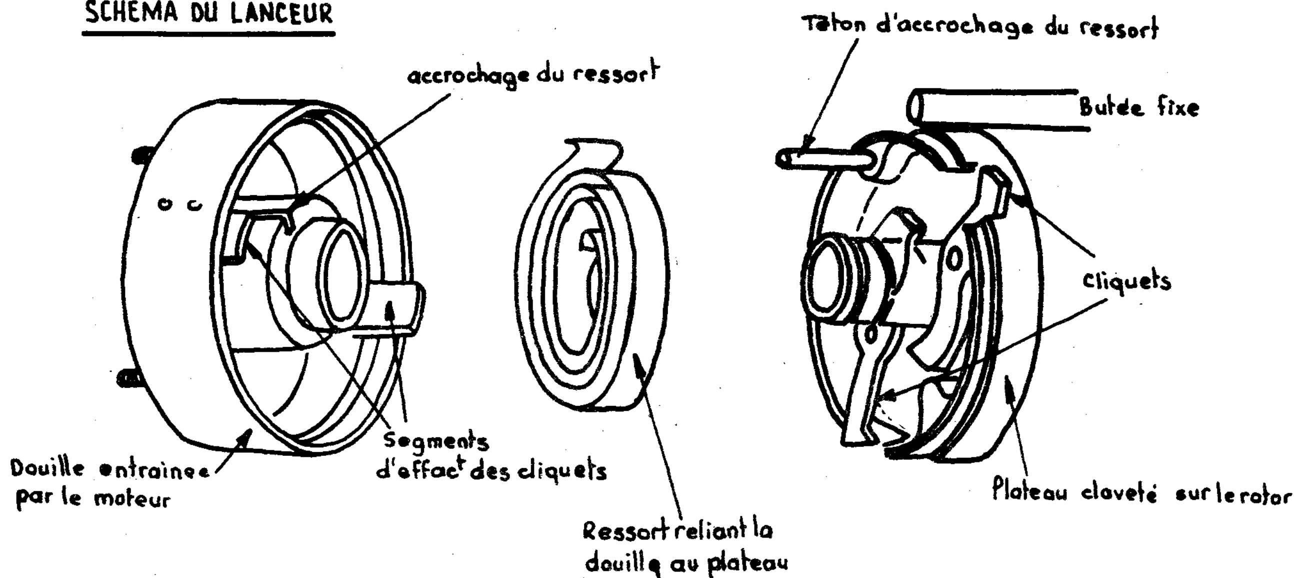
COUPE DU ROTOR



SCHEMA DE L'AVANCE



SCHEMA DU LANCEUR



L A R A M P E D ' A L L U M A G E

L E S B O U G I E S

Les bougies font partie du circuit secondaire, tout en étant complètement indépendants de la magnéto.

La liaison s'établit par les fils de la rampe d'allumage ; ces fils sont fortement isolés pour éviter les claquages, et ils sont placés dans des corps métalliques (manifold) ou sont blindés par une tresse métallique ; une continuité de masse doit être assurée de la magnéto aux bougies pour éviter les parasites radio.

On distingue 2 genres de bougies :

- Les bougies chaudes dont les électrodes dépassent largement du culot, et qui favorisent les départs mais peuvent donner de l'autoallumage à haut régime.

- Les bougies froides, dont l'isolant descend très bas sur l'électrode centrale, qui ne sort que très peu du culot. Ces bougies sont valables pour les moteurs poussés.

Une bougie se compose en principe de 2 électrodes métalliques séparées par un léger intervalle de 4 à 6 / 10 m m et réunies respectivement au distributeur (électrode centrale) et à la masse (culot) ; l'isolement entre le culot et l'électrode centrale est assuré par des rondelles de mica (périmé) ou par de la porcelaine, ou de la stéatite.

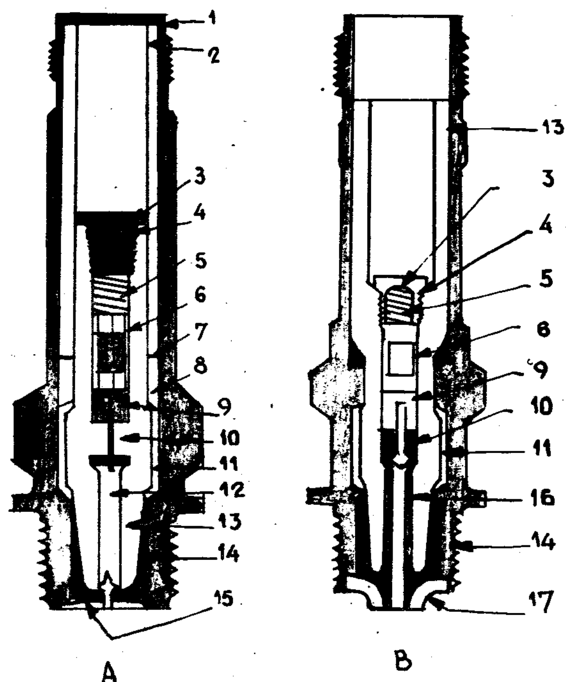
Au début de 1940, on s'aperçut que l'isolant soumis à de fortes charges thermiques se rompait et se désintégrait, causant des incendies en vol ; le problème fut résolu par l'emploi du mica, supérieur à toutes les porcelaines. Un nouveau progrès était accompli avec l'électrode de masse quadruple avec laquelle une seule étin-

celle est produite mais se déplace d'une électrode à l'autre en affectant assez peu chacune d'elle.

L'emploi du mica n'a été qu'éphèmère car le plomb ajouté au carburant entrainait une baisse de rendement, et l'huile pénétrait entre les couches de mica.

Un autre problème fut celui des parasites radio, nécessitant le blindage des bougies ; en raison de la longueur des fils blindés, la capacitance du circuit devenait trop élevée et il a fallu inclure des résistances dans les bougies.

Enfin, en raison des taux de compression de plus en plus élevés, il a fallu améliorer l'étanchéité des joints. Les coupes ci-contre de 2 bougies Champion montrent la réalisation



- A : bougie à électrodes fines

- B : bougie à électrodes épaisses

1 : rondelle en nylon

2 : isolant en céramique

3 : contact pour fiches de cable

4 : ciment

5 : ressort

6 : résistance

7 : rondelle en amiante

8 : joint d'étanchéïté

9 : contact en laiton

10 : joint de verre

11 : manchon en cuivre

12 : électrode en alliage de Ni à noyau d'argent

13 : bec d'isolant

14 : culot

15 : électrode de platine ou d'iridium

16 : électrode de cuivre plaquée nickel

17 : électrode de masse double

CHAPITRE XI

LES CARBURANTS

CARBURANTS UTILISES EN AVIATION

On utilise l'essence sur les moteurs à explosion, le kérozène sur les moteurs à réaction.

Tous deux sont obtenus par distillation du pétrole brut. Il passe successivement :

- les éthers de pétrole, de 35 à 70° C
- les essences de pétrole, de 70° à 120° C (dites aussi essences directes)
- les huiles lampantes white spirit, kérozène ; le white spirit " léger " commence à distiller avant 150° C ; le " courant " avant 170° C ; le " lourd " avant 200° C ; le kérozène distille entre 150 et 300°C
- les huiles lourdes, entre 300° C et 400° C.

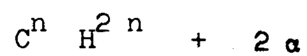
Le rendement d'une telle distillation est assez faible et on opère comme suit :

- reforming : traitement de l'essence directe et du white spirit sous pression de 60 K à une température de 500° C. On obtient ainsi des aromatiques.

- cracking : chauffe du pétrole à 400° C, provoquant la formation de produits liquides ou gazeux plus légers que les constituants les plus légers au départ, et de produits plus lourds que les constituants les plus lourds au départ.

On a aussi des essences de synthèse, obtenues par hydrogénation du charbon, du lignite, du goudron, de l'huile lourde en présence d'un catalyseur. Le produit obtenu sera l'iso-octane et servira d'étalon de comparaison pour les essences d'autres provenances.

Formule générale d'un carburant.



$$C^{n} \; H^{2\,n} \; + \; 2\,\alpha$$

ou α **est** nul, négatif ou positif. $C^{n} \; H^{2\,n\,+\,2}$ donne les paraffiniques :

$C^{n} \; H^{2\,n}$ donne les naphténiques ;

$C^{n} \; H^{2\,n\,-\,2}$ donne les aromatiques ;

SPECIFICATIONS DE L'ESSENCE

Les propriétés caractérisant une essence sont :

- volatilité
- bonne résistance à la détonation
- résistance au " vapor lock "
- résistance à la décomposition pendant le stockage
- faibles propriétés dissolvantes ou corrosives

1 - Volatilité.

Une essence doit permettre un démarrage facile à froid ; il faut donc que certains constituants de l'essence donnent une évaporation suffisante dans l'air d'alimentation pour que le mélange soit homogène et puisse s'enflammer.

Cependant, si on accélère trop l'évaporation, on pourra aboutir au " vapor lock " donc compromis à établir ; mais, si l'évaporation est très rapide, il y aura une chute importante de température avec ,dans certains cas, un givrage même par des températures ambiantes supérieures à 0° C. C'est pourquoi, sur les moteurs modernes, on fait déboucher l'injecteur d'essence directement à l'entrée du compresseur.

Si la volatilité est insuffisante, il reste du combustible sous forme liquide dans le cylindre - donc carburant perdu - qui joue un rôle néfaste par " lavage " du cylindre.

L'injection directe d'essence dans le cylindre élimine les inconvénients ci-dessus ; la quantité d'essence est dosée par une pompe mécanique d'une façon rigoureusement égale pour chaque cylindre. L'injection étant faite à forte pression dans l'air comprimé et chaud, la pulvérisation est très améliorée et le mélange est très homogène. La chute de température qui l'accompagne éloigne le phénomène de détonation et améliore le remplissage. Enfin, l'aspiration d'air seul per-

met d'améliorer le balayage.

L'injection peut se faire directement dans le cylindre à forte pression, ou avant la soupape d'admission à pression plus faible.

2 - Résistance à la détonation.

La détonation peut apparaitre soit pour des pressions trop élevées du mélange air-essence, soit pour des températures trop élevées, soit pour des avances à l'allumage trop élevées.

C'est en fin de compte le pouvoir anti-détonant du combustible qui décidera de l'apparition du phénomène.

Ce phénomène, très sensible sur une voiture (cliquetis, cognement) peut très bien ne pas être perçu sur un moteur d'avion ; il ne pourra être évité que par le respect strict des normes d'utilisation telles que tours / minutes, pression d'admission, températures culasses, températures air.carburateur.

La résistance du carburant à la détonation est caractérisée par l'indice d'octane : Ex : essence à 90 d'octane. Le terme " indice d'octane " situe la proportion d'octane dans un mélange héptane-octane, qui permet d'obtenir au maximum l'indice 100 (l'heptane est très détonant, l'octane l'est très difficilement).

Ex : l'indice 85 signifie 85 % d'octane et 15 % d'heptane.

Quand il a fallu passer aux indices supérieurs à 100 on a employé le nombre de performance ou indice de performance.

Ex : Essence indice 130 signifiant qu'en mélange riche le moteur fournira 130 % de l'énergie qu'il fournirait avec l'essence indice 100.

En général, l'indice de performance comprend une double indication, par exemple " essence et indice 115 / 145 ". Le premier chiffre caractérise la résistance à la détonation en mélange pauvre ;

le deuxième la caractérise en mélange riche. Ces 2 indices différent ainsi seulement par la richesse du mélange.

On peut donner de la détonation l'image suivante. Pendant le fonctionnement normal du moteur se produit l'inflammation du mélange. Au moment de l'étincelle et une fois un certain nombre de molécules enflammées, la partie en combustion augmente, par conductibilité et rayonnementla température des parties adjacentes concentriques jusqu'à leur température d'inflammation ; la flamme se propage à une certaine vitesse, non instantanée, et la pression croît de même (vitesse de 15 à 30 m / s).

En détonation, les molécules enflammées compriment brutalement les parties adjacentes qui s'enflamment à leur tour. A partir d'une certaine limite, il nait une onde explosive de modification chimique qui se propage en augmentant brutalement la pression par décomposition de peroxydes instables ; la vitesse d'inflammation est alors de l'ordre de 1200 à 2000 m / s.

Cette vitesse étant moindre pour un mélange riche que pour un mélange pauvre, le risque de détonation sera supérieur en mélange pauvre, et les températures culasses seront plus élevées.

Si la température culasse monte encore davantage, on arrivera à l'auto-allumage, soit par point chaud dans le cylindre, soit par température moyenne prohibitive.

Quand on veut obtenir une surpuissance momentanée, on peut pratiquer l'injection eau-méthanol dans la veine d'air ; on fera ainsi chuter la température ambiante, donc la température dans le cylindre et on pourra obtenir de celui-ci une surpuissance momentanée de 20 à 30 %.

3 - Vapor lock.

La volatilité peut être dangereuse pour la régularité du fonctionnement et il peut se produire dans certains cas des tampons de vapeur dans les systèmes d'alimentation.

Il peut en effet se produire dans un circuit des zones chaudes ; les tensions de vapeur prennent alors en ce point une valeur

supérieure aux pressions exercées sur le liquide. Il se produit suivant le cas :

- un mélange trop pauvre, si les bulles de vapeur se forment dans le gicleur.

- si la pompe d'alimentation ne peut envoyer la quantité de liquide nécessaire, en plus de la vapeur.

- un mélange excessivement riche, dû à la noyade du carburateur.

- si un flot de liquide est envoyé dans la cuve par la pression qui se forme entre la pompe et la cuve.

- si les bulles de vapeur se forment dans la cuve en laissant tomber le flotteur.

. Le vapor lock est surtout sensible sur les circuits essence fonctionnant à faible pression (carburateurs à cuve) ; l'alimentation par 2 pompes n'améliore pas alors la sécurité si elles ont une tuyauterie d'aspiration commune. Il se produit :

- soit pendant une marche à grande vitesse ou à forte puissance ;

- quand le moteur tourne à vide après avoir fonctionné en charge ; il se manifeste par le calage du moteur.

4 - Tension de vapeur.

Cette caractéristique mesure l'aptitude à émettre des vapeurs, donc à contribuer au phénomène précédent : une forte tension de vapeur favorise le vapor-lock ; elle entraine également une perte de carburant par évaporation pendant les vols à haute altitude, d'où nécessité de maintenir une légère surpression dans les réservoirs.

5 - Chaleur de vaporisation.

C'est la chaleur absorbée par l'évaporation complète de 1 g d'essence.

6 - Pouvoir calorifique.

Il caractérise l'énergie susceptible d'être développée par l'unité de poids de carburant. Le pouvoir calorifique a donc une influence directe sur la consommation ; il est de l'ordre de 11000 cal / k pour l'essence, de 10200 k pour le kérczène.

PRODUITS D'ADDITION

On trouve :

- des antidétonants, dont le plus connu est le plomb tétraethyle (ou éthyl-fluide).

- des antigommes, ou inhibiteurs, employés surtout pour les essences de cracking.

- Le plomb tétraéthyle a certains inconvénients :

- dépôts de plomb dans les cylindres et sur les soupapes.

- corrosion des soupapes d'échappement. Nécessité de stelliter les portées.

- attaque l'isolant des bougies.

- coûte cher.

- est toxique, tant à la manipulation que sous forme de vapeurs.

- attaque les réservoirs en alliage léger, et le caoutchouc naturel.

- Les gommes sont provoquées par l'instabilité de certaines essences, notamment les essences de cracking ; elles se forment par oxydation et par polymérisation en l'absence de l'air.

Ces gommes ont surtout des inconvénients dans le stockage car il se forme des gommes solubles au bout d'un certain temps, provoquant des pertes de poids et, ce qui est plus important, des pertes d'octane.

Elles provoquent aussi des dépôts dans les canalisations d'alimentation, dans le carburateur, dans les tubulures d'admission, sur les tiges de soupapes d'admission ; elles brûlent en donnant des dépôts qui encrassent les chambres de combustion et qui peuvent provoquer de l'autoallumage.

Certains produits anti-oxydants peuvent gêner ou empêcher la formation des gommes ; on les emploie dans la proportion de 0,001 à 0,01 %.

Elimination de l'eau.

Les carburants peuvent contenir de l'eau en suspension ou en dilution.

L'eau en suspension peut être éliminée par une purge au point bas du réservoir, à condition de respecter un délai suffisant pour permettre la décantation.

Des détecteurs chimiques permettent de vérifier si l'eau suspendue ne dépasse pas la valeur maximale admissible.

Donc, consigne impérative : purger les réservoirs après chaque plein d'essence.

Le carburant peut aussi contenir de l'eau dissoute variant avec la température et la composition ; cette proportion, variable, doit être aussi faible que possible pour éviter la précipitation d'eau à basse température, et le givrage.

UTILISATION ESSENCE 100 / 130 (ou 108 / 135)

DANS MOTEUR FAIT POUR 115 / 145

Cette utilisation est autorisée mais doit être considérée comme anormale ; elle sera en principe limitée à des étapes effectuées à partir de terrains de dégagement non approvisionnés en 115 / 145. Seuls les compléments de plein en 100 / 130 supérieurs à 2 % du réservoir nécessitent des limitations et des consignes spéciales.

Réserver de l'essence 115 / 145 dans des résevoirs qui permettront l'alimentation du moteur pour le décollage et l'atterrissage ; en montée et en croisière, utiliser au maximum les réservoirs 100 / 130 pour réduire la quantité à vidanger à l'arrivée.

Il faudra ensuite effectuer une vidange complète des réservoirs ayant reçu de la 100 / 130 ; les quantités résiduelles d'essence non vidangeable n'étant pas négligeables, il faudra s'assurer avant le vol suivant que la teneur en essence 100 / 130 ne dépasse pas 2 % et par conséquent faire les pleins avec une quantité suffisante d'essence 115 / 145 pour que cette proportion maximum soit tenue.

UTILISATION ESSENCE 115 / 145

DANS MOTEUR FAIT POUR 100 / 130

Dans un moteur prévu pour l'essence 100 / 130 il est en principe interdit d'utiliser de la 115 / 145 pour les raisons suivantes :

- encrassement des bougies

- dépôt de plomb se formant sur la tige des soupapes, diminuant ainsi le jeu entre la tige et le guide.

Si les pleins ne peuvent être effectués qu'avec de la 115 / 145, appliquer les consignes suivantes :

- limiter l'utilisation de cette essence au maximum ; essayer dans la mesure du possible d'avoir un mélange ne dépassant pas 50 % de 115 / 145. Si l'utilisation doit être prolongée, changer les bougies toutes les 100 h.

- s'assurer qu'au moment du passage sur étouffoir, l'augmentation des t / m est comprise entre 0 et 20 t / m et pas au-delà.

- en cas d'attente prolongée en bout de piste, toutes les 10 m accelérer les moteurs pendant 1 minute en maintenant une pression d'admission de 30 pouces H g.

CHANGEMENT DE COULEUR DE L'ESSENCE.

L'essence 100 / 130 recueillie lors des purges peut passer du vert habituel à une couleur rose plus ou moins foncée. Ce changement de couleur est dû à certains composants de l'essence qui peuvent se décomposer sous l'influence de la lumière, et d'autre part à l'action des produits utilisés pour le nettoyage des bocaux.

Mais dans tous les cas, les caractéristiques de l'essence ne sont nullement modifiées.

C H A P I T R E XII

G R A I S S A G E

LE GRAISSAGE

A) - Usure des portées.

Elle est attribuée à 2 causes :

- 1° - Frottement direct des surfaces métalliques

- 2° - Frottement sur ces surfaces métalliques de particules solides transportées par le lubrifiant.

Le premier cas est caractéristique du graissage imparfait; il résulte de :

- a) - rupture ou expulsion de la couche lubrifiante par suite d'une exagération de la charge, ou d'une élévation de $\theta°$, ou des 2 causes réunies.

- b) - défectuosité de la canalisation de graissage.

- c) - débit d'huile irrégulier ou insuffisant.

- d) - défaut d'usinage ou de montage des portées (jeux trop faibles ou trop forts, mauvais régulage, mauvais tracé des pattes d'araignée).

L'usure se manifeste sous forme de plages correspondant aux zones de surfaces frottantes.

Le 2ème cas se produit en graissage parfait comme en graissage imparfait ; c'est le seul se manifestant en graissage parfait, l'expérience montrant qu'une usure appréciable des portées se produit dans le cas d'un frottement exclusivement fluide ; cette usure vient de la présence dans le lubrifiant de particules solides qui viennent rayer les surfaces métalliques et provenant soit des arrachements de matière qui accompagnent le frottement direct, soit de la carbonisation du lubrifiant sous l'effet de la chaleur, carbonisation ne se produisant qu'au dessus de 150° et par suite surtout dans l'intervalle piston

cylindre et dans la chambre d'explosion.

B) - Les huiles moteurs.

Généralités.

Les huiles moteurs ont à remplir quatre fonctions primordiales :

- Réduire les frottements au minimum : Dans une machine, une partie de l'énergie fournie est perdue en frottement et transformée en chaleur ; la diminution des frottements entraine une augmentation du rendement.

- Combattre l'usure et la corrosion : ce qui assure le bon état et la longévité des pièces.

- Participer au refroidissement : l'huile participe au refroidissement de deux façons :

a) réduction des pertes d'énergie par frottement,

b) échange thermique (nécessité d'une circulation).

- Parfaire l'étanchéité.

C) - Influence du lubrifiant sur l'usure.

Les principales propriétés à considérer sont :

- viscosité et onctuosité
- degré d'inflammabilité
- degré de carbonisation
- degré d'acidité bien que d'influence
- degré d'oxydabilité plus réduite.

1) Viscosité.

La viscosité n'intervient pas directement dans le pouvoir lubrifiant, c'est-à-dire dans l'aptitude qu'ont les huiles à former entre les surfaces métalliques des pellicules graissantes. Mais par contre, elle joue un rôle protecteur très efficace vis à vis de la pellicule lubrifiante contre toute perturbation qui tendrait à la désagréger et devient de ce fait le principal facteur de résistance à l'usure. La dissipation d'énergie étant d'autant plus considérable que le coefficient de viscosité est plus élevé, il semblerait indiqué pour accroitre le rendement et diminuer l'échauffement d'employer un lubrifiant aussi peu visqueux que possible, mais on est limité par le rôle que joue la viscosité dans la défense de la pellicule graissante.

Ce n'est pas seulement la valeur de la viscosité à un donnée qui est intéressante, mais aussi sa variation entre 50° à 100° car il faut tenir compte du fait que le lubrifiant subit des élévations successives de θ° en passant des paliers aux têtes de bielles, puis des têtes de bielles aux cylindres. Le lubrifiant le meilleur sera donc celui qui aura la plus faible variation de viscosité : ainsi, les huiles paraffiniques ont de moins grandes variations de viscosité avec θ° que les huiles asphaltiques.

Certains lubrifiants font " gagner des chevaux " par suite d'une faible viscosité aux θ° d'utilisation ; la contre partie est une usure plus rapide et souvent accompagnée d'accidents.

De même si l'huile est employée à trop haute θ°, on constate des matages aux points des coussinets correspondant aux explosions semblant prouver qu'il y a eu rupture de la couche lubrifiante ; de plus, les portées présentent de nombreuses rayures. C'est que la viscosité vers 100° est insuffisante et il peut y avoir des détériorations de l'antifriction qui, au voisinage de 150°, n'a plus la dureté suffisante pour résister aux efforts s'exerçant sur les coussinets : il se produit des affaissements et des entrainements de métal, les lumières de graissages peuvent s'obstruer et des grippages se produire. La θ° maximum à l'entrée d'un moteur est de 70° à 85° environ.

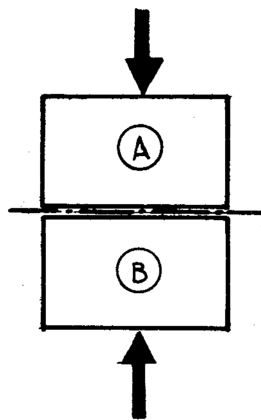
La fluidité d'une huile - ou son inverse la viscosité - se mesure en faisant écouler de l'huile sous une charge constante et à une θ donnée. On mesure la durée d'écoulement d'une certaine quantité d'huile ou le nombre de cm3 écoulés en un temps donné.

2) Onctuosité.

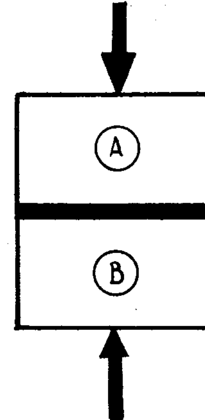
Cette caractéristique est liée à l'adhésivité de l'huile sur les surfaces métalliques avec lesquelles elle est en contact.

Soient deux pièces A et B entre lesquelles est interposée une pellicule d'huile. Si l'on applique fortement les pièces l'une contre l'autre, le film d'huile est rapidement rompu et se trouve expulsé si son adhérence sur les surfaces est mauvaise. Si à ce moment, les pièces se déplacent l'une par rapport à l'autre, le frottement se fait métal sur métal.

Si, au contraire, le film adhère aux surfaces il n'est pas rompu et le graissage se fait normalement.



Onctuosité insuffisante le film est rompu.



Grande onctuosité le film n'est pas rompu.

Des additifs peuvent être ajoutés aux huiles pour en accroître l'onctuosité et permettre ainsi des frottements d'extrême-pression. De l'onctuosité et de la viscosité, dépend le pouvoir lubrifiant d'une huile.

Remarque :

L'adhésivité varie avec différents métaux pour une même huile ; de même, elle varie avec différentes huiles pour un même métal.

3) Inflammabilité.

Le point éclair, ou point d'inflammabilité est la θ° à laquelle les vapeurs dégagées par l'huile constituent avec l'air un mélange inflammable sans que la combustion devienne permanente.

Le point de combustion est la θ à partir de laquelle les vapeurs dégagées sont susceptibles en brûlant de communiquer le feu à la masse d'huile ; il est supérieur de 30 à 40° au point éclair.

Les huiles minérales employées ont un P_e de 175° à 250° mais dissolvant l'essence, elles se chargent à l'usage d'hydrocarbures légers ce qui a pour effet d'abaisser peu à peu leur point d'inflammabilité.

4) Carbonisation.

Les dépôts charbonneux finissent toujours par être assez importants. On a reconnu expérimentalement que si on adjoint une huile fixe (ricin, colza, olive) à une huile minérale, on diminue la carbonisation : on suppose que l'oxygène de l'huile fixe intervient pour rendre les combustions plus complètes. L'huile fixe détruit alors les dépôts existants et empêche la formation d'autres dépôts.

5) Acidité.

Elle intervient par la corrosion produite sur le métal et par la formation de composants solides ayant un pouvoir rodant caractérisé ; de plus, les acides gras attaquent les métaux en formant des savons métalliques n'ayant pas de pouvoir rodant mais pouvant encrasser les passages d'huile ; mais ces savons peuvent être décomposés par la chaleur en donnant des oxydes métalliques dont certains constituent des rodants.

6) Oxydabilité.

Les vernis et gommes résultant de l'oxydation peuvent encrasser ou obstruer les canalisations. Les huiles minérales sont pratiquement inoxydables.

C) - Le départ à froid.

Aux basses températures, la viscosité de l'huile prend des valeurs très élevées, d'où un couple très élevé pour la mise en marche du moteur. De plus, à une θ basse, l'huile se fige à tel point que sa circulation peut être impossible.

Parmi toutes les méthodes trouvées pour le démarrage par temps froid, la plus satisfaisante parait être la dilution d'essence dans l'huile de graissage avant l'arrêt du moteur, toutes les fois qu'un départ à froid est prévu. La viscosité est ainsi très réduite et le moteur tourne facilement, l'huile froide diluée circule plus facilement et, lorsque le moteur est chaud, l'essence s'évapore et laisse l'huile revenir à son état initial. Suite aux incidents , ce système est supprimé dans les pays tempérés.

Il y a seulement à craindre une augmentation de la corrosion provenant de l'éthyl ajouté à l'essence, mais cet inconvénient est largement compensé par les améliorations produites.

Huiles employées.

Les propriétés recherchées pour une huile d'aviation sont les suivantes :

1°) - Haute viscosité.

90 à 130 Saybolt (T^s mesuré pour l'écoulement de 60 cm3 à 98°9)

ou

3 Engler à 100° (E = T / t, t temps d'écoulement de 200 cm3 à 20°)

2°) - Courbe plate de viscosité et de température.

3°) - point éclair élevé (200°)

4°) - stabilité chimique.

5°) - Point de congélation bas (- 9° à - 18°)

D) - Additifs.

Additifs améliorant les propriétés physiques de l'huile.	- Additifs améliorant l'indice de viscosité. - Additifs abaissant le point de congélation. - Additifs anti-mousse. - Additifs accroissant l'onctuosité.
Additifs évitant l'altération ou remédiant à ses conséquences.	- Additifs détergents. - Additifs inhibiteurs de corrosion. - Additifs anti-oxydants.

1 - Additifs améliorant les propriétés physiques de l'huile.

1 - 1 - Améliorant de l'indice de viscosité. Quand le moteur s'est échauffé, si l'indice est mauvais, la viscosité peut descendre très bas, ce qui justifie une consommation plus grande d'huile. Il faut donc que les huiles d'été et d'hiver aient un indice aussi élevé que possible.

Pour obtenir ce résultat, il faut incorporer aux huiles des polymères de poids moléculaire relativement élevé (dérivés de l'isobutylène).

1 - 2 - Additifs destinés à abaisser le point de congélation. Leur mode d'action est le suivant :

Dès leur formation aux basses températures, les microcristaux de paraffine sont enrobés par l'additif qui fait obstacle à la formation des aiguilles de paraffine qui, en s'agglomérant obstruent les canalisations et les pompes à huile. Le pourcentage d'additifs à incorporer pour obtenir ce résultat oscille autour de 0,5 %.

Ces additifs sont des huiles de synthèse obtenues par alkylation d'hydrocarbures cycliques.

1 - 3 - Additifs anti-mousse. Les huiles minérales pures n'ont pas tendance à mousser. Par contre, la présence d'huile de nature organique et d'additifs (1) dans les huiles compound favorise l'inclusion de bulles d'air ou d'autres gaz. La mousse est d'autant plus difficile à détruire que l'épaisseur du film constituant les enveloppes des bulles sera forte par rapport au diamètre des bulles. Les anti-mousse ont pour but de modifier les tensions superficielles de l'huile afin de provoquer l'amincissement du film constituant l'enveloppe de la bulle d'air et provoquer son éclatement. Les meilleurs anti-mousse sont les silicones.

1 - 4 - Additifs destinés à accroitre l'onctuosité et permettant des frottements d'extrême pression.

Ces additifs ont pour but de transformer les métaux des surfaces métalliques en contact, en sels métalliques tels que chlorures, sulfures, phosphures. Leur rôle est d'augmenter l'adhésivité de l'huile sur les surfaces ainsi modifiées et d'empêcher également la soudure des métaux sous les fortes pressions. Les additifs d'extrême pression sont généralement des complexes organiques à base de chlore et de soufre, parfois de phosphore et de plomb.

Le bisulfure de molybdène (MoS_2) est également utilisé, soit comme additif dans les huiles, soit en frottement sec (imprégation de paliers poreux).

2 - Additifs évitant l'altération des huiles ou remédiant à ses conséquences.

2 - 1 - L'altération - causes - conséquences. L'altération des huiles de graissage dans un moteur a de graves conséquences sur les qualités lubrifiantes de l'huile et sur la consommation, mais également pour le moteur par formation d'acides et autres produits corrosifs qui entrainent l'usure des pistons, cylindres, coussinets.

Les causes de l'altération se rattachent à certains des facteurs déterminants du graissage :

1° - La température : toute élévation de température accélère la combinaison avec l'oxygène (au-delà de 140°, la vitesse d'oxydation double tous les 10°).

2° - Le milieu ambiant : l'oxygène et l'air sont solubles dans l'huile. La solubilité décroît lorsque la viscosité augmente. Certains métaux et leurs oxydes, ainsi que la vapeur d'eau, ont un rôle catalyseur.

3° - La durée de la réaction.

4° - La nature de l'huile : avec des huiles composées en majeure partie de carbures naphténiques, l'altération commence dès le début du chauffage, par contre, les huiles à prédominance paraffinique, s'oxydent d'abord lentement, puis plus rapidement.

L'altération peut être :

1° - à caractère physique (pollution par des corps étrangers).

2° - à caractère chimique (oxydation, dissociation de composants).

2 - 2 - Additifs destinés à prévenir l'altération des huiles ou à remédier à ses conséquences.

1° - Additifs détergents. C'est à cette catégorie d'additif qu'incombe la tâche de tenir toutes les matières précipitables en suspension stable afin d'empêcher leur accumulation, en particulier dans la segmentation des pistons et dans les circuits de graissage.

Les détergents ne sont pas chargés d'empêcher la formation des matières précipitables issues de la décomposition de l'huile, du combustible ou de l'usure du moteur. Mais dès leur apparition, le détergent s'y fixe par absorption, en enrobant les particules collaïdales par un processus semblable à celui des additifs abaissant le point de congélation. Ces derniers agissant à froid, les détergents doivent agir aux températures élevées. Les détergents sont donc des agents de dispersion, ou encore des antifloculants agissant à chaud.

Le rôle principal de ces additifs est dispersif, mais il est aussi décapant des surfaces métalliques d'où le nom de détergent.

Etant des accélérateurs d'oxydation, les détergents aggravent la corrosion s'ils sont utilisés isolément et par là, rendent les surfaces métalliques vulnérables à l'attaque des acides. Leur action doit être combinée à celle des inhibiteurs de corrosion dont le rôle serait par contre inefficace sur des surfaces gommées.

Les additifs détergents sont des sels métalliques ou organométalliques tels que naphténate de calcium, dichlorostearate de calcium, ect....

2° - Additifs inhibiteurs de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion doivent constituer des couches moléculaires chimiquement absorbées par les métaux. Ces couches formant par la suite une barrière protectrice contre l'attaque par les huiles altérées. Ils doivent également neutraliser l'action catalytique jouée par les métaux.

Les inhibiteurs à base de phosphore sont les plus employés. Leur emploi s'est généralisé depuis que l'on a constaté que les huiles, raffinées par l'emploi de certains solvants, attaquaient les métaux. Les inhibiteurs de corrosion ont une action semblable aux anti-oxydants au regard de l'huile, ce qui explique que de nombreux additifs soient à la fois anti-oxydants et anti-corrosifs.

3° - Additifs anti-oxydants. Comme leur nom l'indique, ces produits combattent l'oxydation de l'huile : ils ont pour but de réduire les causes du mal. Leur effet se traduit par une action plus tardive des produits d'oxydation de l'huile. Ces corps chargés de freiner et si possible, d'arrêter l'oxydation des huiles, agissent comme suit :

a) en fixant eux-mêmes l'oxygène libéré par les péroxydes ou autres composés oxygénés ;

b) en exerçant une action réductrice sur les produits d'oxydation initiale de l'huile et en retardant de ce fait l'apparition des substances précipitables (vernis, asphalte, etc...).

c) en solubilisant les produits d'oxydation, de réduction ou de polymérisation.

Dans cette catégorie d'additifs très nombreux, entrent des composés tels que les phénols, des naphtols, les dérivés de l'aniline, les composés organométalliques renfermant du soufre, du phosphore, de l'antimoine, du zinc, etc...

E) - Huiles pour graissage des turbo-réacteurs.

Propriétés

Les conditions particulières d'utilisation exigent des huiles employées pour le graissage des turbo-réacteurs, les caractéristiques suivantes :

- Faibles variations de viscosité avec la température (large domaine d'utilisation) ;

- Faible volatilité ;

- Aptitude à supporter des charges élevées (paliers, roulements, engrenages) ;

- Bonne résistance à l'oxydation ;

- Faible pouvoir corrosif.

Les huiles utilisées sont des huiles synthétiques capables de travailler dans des limites de températures plus larges que les huiles minérales.

F) - Fluides hydrauliques.

Caractéristiques

Les propriétés principales des fluides hydrauliques sont identiques à celles des huiles. Toutefois, vue leur utilisation particulière, ils doivent posséder certaines d'entre elles à un degré élevé.

- Pouvoir lubrifiant suffisant pour assurer le graissage convenable des équipements, des circuits (pompes, moteurs, vérins, etc).

- Faible tendance à l'émulsion : la formation de mousse par brassage d'air et d'huile rend le fluide partiellement compressible, s'il y a formation de mousse, l'air et le fluide hydraulique doivent pouvoir être facilement séparés.

- Indice de viscosité élevé : la viscosité doit demeurer aussi constante que possible dans de larges limites de températures. Des additifs peuvent être ajoutés aux fluides pour améliorer cette caractéristique.

- Stabilité : en particulier en présence du caoutchouc La nature des garnitures doit être appropriée à celle du fluide utilisé.

- Ininflammabilité : caractéristique très importante surtout pour les circuits haute pression où une fuite provoquera la formation d'un brouillard. Les fluides d'origine végétale et minérale sont inflammables, des produits d'origine synthétique ne le sont pratiquement pas.

- Point de congélation : doit être aussi faible que possible.

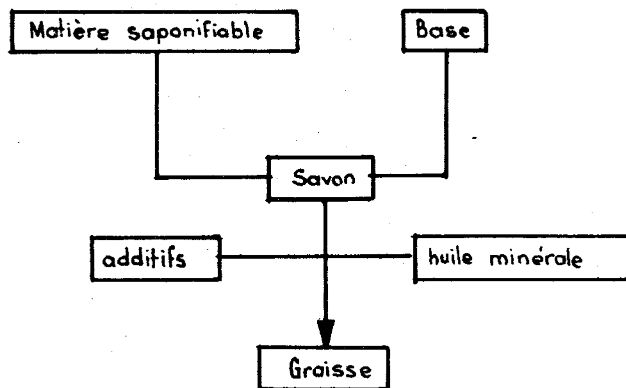
- Volatilité : caractéristique très importante pour les fluides d'origine végétale qui contiennent un solvant.

G) - Les graisses.

1 - Généralités. La plupart des graisses sont des huiles minérales gélifiées par l'addition d'un savon, elles constituent une vaste gamme de produits allant des graisses fluides aux graisses extra dures. La fabrication des graisses se déroule en deux phases :

1° - Fabrication d'un savon par réaction d'une base sur un corps gras naturel.

2° - Emulsion de l'huile minérale dans le savon et adjonction d'additifs. Une fraction de l'huile minérale peut être introduite à la première phase de fabrication.



Les proportions d'huile et de savons sont variables avec la nature du savon et la consistance désirée. Les produits d'addition sont très variés : stabilisants, inhibiteurs d'oxydation, antifrictions.

2 - Propriétés principales des graisses.

Un certain nombre des propriétés étudiées pour les huiles restent valables pour les graisses. Les propriétés particulières sont :

- <u>la consistance</u> déterminée par essai d'enfoncement d'un pénétrateur standard à une température déterminée.

- <u>le point de goutte</u> : température à laquelle une graisse contenue dans un récipient standard percé d'un trou calibré et progressivement chauffée laisse échapper la première goutte.

On peut également citer : la capacité de charge, la résistance à l'eau, la résistance à l'oxydation.

3 - Avantages - Inconvénients des graisses.

Les graisses, du fait de leur onctuosité conviennent pour les frottements lents, les fortes charges, les températures élevées, elles conviennent pour le graissage des mécanismes exposés aux intempéries, soumis à des vibrations ou des chocs.

Les graisses sont contre indiquées pour les pivotements de précision et de faible puissance, et lorsqu'une circulation est nécessaire (refroidissement par échange thermique).

4 - Différents types de graisses.

4 - 1 - <u>Graisses normales</u>. Les propriétés des graisses normales peuvent varier selon leur composition.

Pour les applications caractérisées par de grandes vitesses ou de faibles charges, on préconise les graisses à base d'huiles minérales de faibles viscosité qui réduisent les frottements au minimum. Pour les emplois où les températures et les charges sont élevées, on préfère les graisses à base d'huile minérales visqueuses.

Les graisses sont préparées de différentes façons :

a) <u>Graisses calciques (à base de chaux)</u>.

Les graisses consistantes usuelles sont à base de savons calciques. Correctement préparées, elles ont une texture butyreuse et homogène. Leur consistance varie selon leur teneur en savon. Il faut éviter d'utiliser ces graisses à des températures où l'eau s'en évaporerait trop rapidement. Leur limite d'emploi est généralement fixée à 80° C maxi. Ces graisses sont hydrofuges. Elles sont aussi les moins coûteuses.

b) Graisses sodiques (à base de soude).

A la différence des précédentes, ces graisses conviennent aux températures élevées. Elles sont hydrophiles. Leur texture spéciale leur a valu le nom de graisses fibreuses.

c) Graisses mixtes, au baryum et au lithium.

Les graisses mixtes à base de savons calcio-sodiques ont des propriétés intermédiaires ; elles sont anhydres et supportent des températures plus élevées que les graisses calciques ordinaires ; elles ont un grand pouvoir hydrofuge. On ajoute quelquefois du baryum ou du lithium pour améliorer leurs qualités, en particulier l'adhérence et la résistance à l'eau.

d) Graisses à base d'aluminium.

On en distingue deux types : le type butyreux et le type extra-fibreux. Les premières ont la même utilisation que les graisses calciques. Les secondes conviennent au graissage des arbres à rotation lente et supportent mieux les efforts de choc qui entraineraient l'élimination d'autres lubrifiants.

4 - 2 - Graisses fluides. On emploie ces graisses extra-molles, appelées aussi huiles épaisses , dans les machines qui ne peuvent tolérer des frottements importants.On leur ajoute quelquefois un savon de plomb pour augmenter la résistance du film.

4 - 3 - Graisses en briquette ou en pain. Elles sont préparées à partir d'huiles minérales visqueuses qu'on épaissit jusqu'à la consistance du savon de blanchisserie. On utilise ces graisses sous forme de briquettes qui viennent appuyer contre la surface à graisser et y laisser un film lubrifiant.

4 - 4 - Graisses sans savon. Il est possible de gélifier les huiles au moyen de multiples substances en dehors des savons, telles que le noir de fumée.

4 - 5 - Graisses de silicones. Les graisses de silicones sont caractérisées par :

- leur grande marge d'utilisation de - 40° + 260°,
- leur absence de durcissement à basse température et de coulage à chaud,
- leur insolubilité dans l'eau,
- leur résistance à l'attaque de nombreux agents corrosifs,
- leur inertie chimique vis-à-vis des métaux, du caoutchouc, du cuir.

ORGANES DU DISPOSITIF DE GRAISSAGE

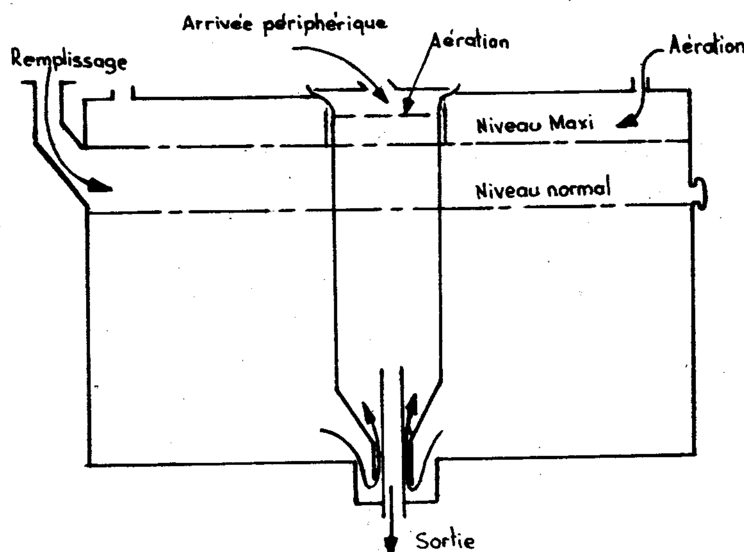
Les organes principaux comprennent le réservoir d'alimentation, les tuyauteries et raccords, les pompes à huile (faisant partie du moteur) ; le régulateur de température d'huile, les indicateurs de P et O° d'huile. Enfin dans certains cas, un dispositif de dilution d'huile.

A) - Réservoir d'alimentation.

Habituellement, en alu ou dural ou acier, il doit être placé aussi près que possible du moteur, sa position idéale est devant la cloison pare-feu, à environ 50 cm au dessus de l'entrée des pompes, avion au sol. Il doit pouvoir contenir 1 litre d'huile pour 11 litres d'essence dans le cas d'un moteur à refroidissement par air, et 1 litre d'huile pour 14 litres d'essence dans le cas d'un moteur à refroidissement par liquide, compte non tenu de l'huile se trouvent dans les canalisations et le moteur, de qui représente de 4 à 11 litres d'huile.

Le réservoir comprend une entrée, une sortie et des tubes d'aération le reliant au carter du moteur ; en plus, un orifice de remplissage.

Le réservoir utilisé avec le dispositif de dilution d'huile, comprend une colonne alimentaire qui consiste en un tuyau métallique monté verticalement dans le réservoir suivant schéma ;



cette colonne alimentaire a un volume de 4 à 8 L. suivant la quantité d'huile en circulation dans le moteur. Grace à ce dispositif, une partie seulement de l'huile du réservoir ne sert qu'à remplir la colonne alimentaire en venant remplacer l'huile consommée par le moteur. Les avantages sont :

a) consommation rapide de l'huile en service donc pas d'oxydation de cette huile.

b) réchauffage rapide.

c) vidanges moins fréquentes.

d) l'essence de dilution ne se mélange pas à la totalité de l'huile.

B) - Circuit d'huile.

Le circuit est normalement constitué par des tuyauteries souples munies d'embouts vissés et soumises à une réglementation stricte concernant le vieillissement.

Un robinet de vidange permet de vidanger le dispositif Il doit comporter un verrouillage dans la position " fermé " pour éviter une ouverture accidentelle. Si le moteur comporte un dispositif de dilution d'huile, une valve supplémentaire est incorporée au robinet de vidange pour permettre de mélanger une certaine quantité d'essence à l'huile. Un robinet coupe-feu permet d'arrêter l'alimentation en huile du moteur en cas d'incident.

C) - Régulateurs de température d'huile.

Le radiateur d'huile est placé entre la sortie d'huile du moteur et l'entrée au réservoir. Un thermostat est incorporé dans le radiateur pour contrôler automatiquement le passage de l'huile soit à travers les faisceaux soit autour de la coquille suivant -° huile ; ces thermostats ne sont en général pas réglables et sont établis pour faire passer l'huile à travers le radiateur lorsqu'elle atteint -° d'environ 20°. Le radiateur est souvent muni d'un dispositif de volets permettant de régler la circulation de l'air à travers le radiateur.

D) - Les pompes.

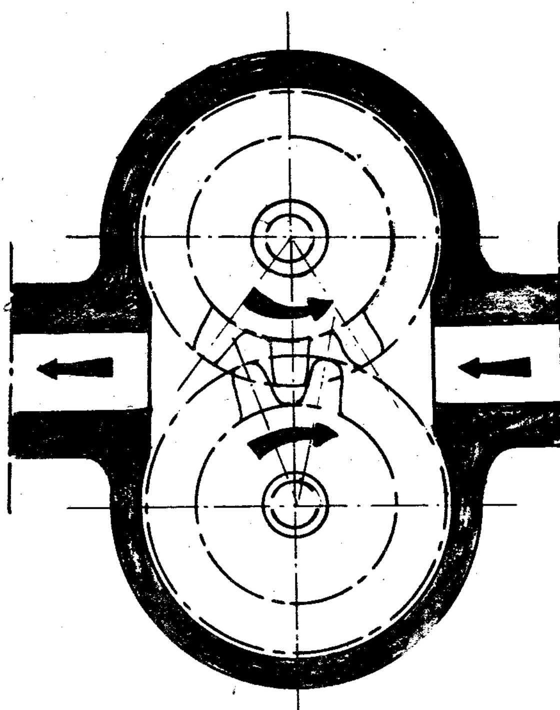
Bien qu'incorporées au moteur, les pompes seront étudiées dans ce chapitre, au point de vue général.

1 - Pompes à engrenages.

Type le plus employé :

Une pompe à engrenages se compose d'un corps en alliage léger et de 2 pignons en acier engrenant l'un avec l'autre ; l'un de ces 2 pignons est commandé par un arbre recevant son mouvement du moteur. Ces pompes sont le plus souvent noyées dans l'huile et sont pratiquement inusables.

soient :



n_1 les tours/minute de la pompe

z le nombre de dents de chaque pignon

v le volume du creux compris entre 2 dents

d le diamètre primitif

m le module ou pas diamétral d/z

h la hauteur de la dent également répartie de part et d'autre du cercle primitif

$$h \# 2 m.$$

b la dimension de la dent, parallelement à l'axe de rotation.

Le débit théorique par minute des 2 pignons est :

$$2 \times n_1 \cdot z \cdot v$$

Si tout est exprimé en m/m, le débit théorique en l/m sera :

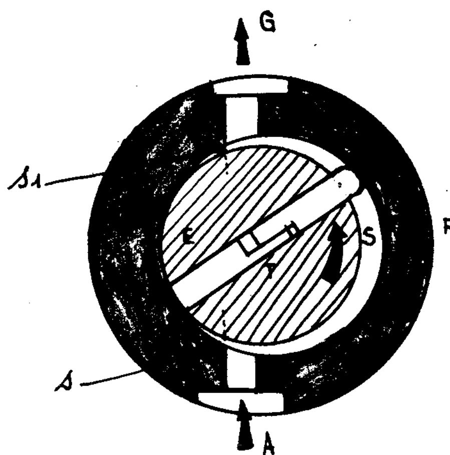
$$Q = \frac{\Pi n_1 \cdot b \cdot d \cdot h}{10^6} \ \text{l/m} \qquad (1L. = 1 \ dm^3 = 10^3 cm^3 = 10^6 \ m/m^3)$$

le rendement de la pompe est de 0,90 environ.

2 - Pompes à palettes.

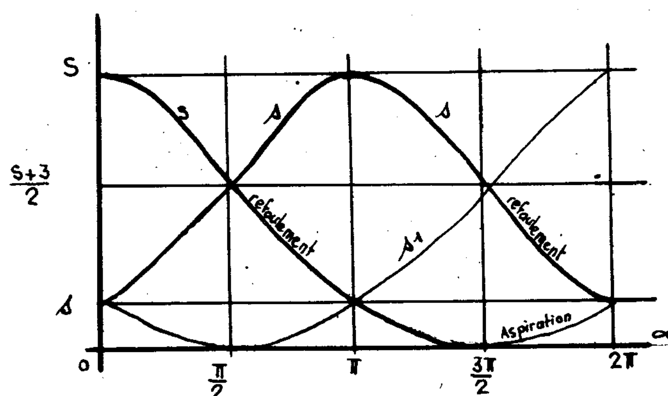
La pompe à palettes est une pompe rotative à débit continu. Une cavité de volume variable V et pleine d'huile est mise successivement en communication avec les canalisations d'admission et de refoulement. Il y a aspiration quand V croit, refoulement quand V diminue.

Un axe T tourne excentriquement dans une enveloppe cylindrique C constituant le corps de pompe et lui est tangent suivant une génératrice E. Cet axe est mortaisé suivant un plan diamétral et dans la mortaise sont logées 2 palettes diamétralement opposées, écartées l'une de l'autre par des ressorts les appuyant constamment contre la paroi de l'enveloppe C.



Fixons la position du système au moyen de l'angle α que font les palettes avec le plan contenant le centre des ouvertures et considérons les variations des aires pour une section droite lorsque l'axe de la pompe fait un tour dans le sens de la flèche.

Pour $\alpha = 0$, la palette délimite d'un côté l'aire très petite s qui vient de se remplir d'huile par aspiration et de l'autre côté l'aire S également remplie par l'aspiration qui vient de se terminer. L'espace mort s n'a pu se remplir que grace aux fuites car il correspond à un volume croissant d'une capacité close ; ceci ne nuit du reste en rien au fonctionnement de la pompe.

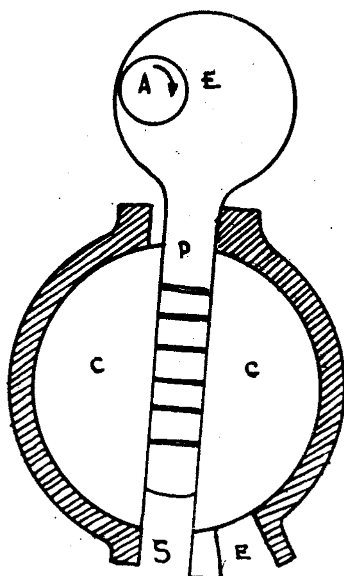


Pour un tour de la pompe, les aires varient de façon sensiblement sinusoïdale ; de 0 à $\pi/2$, l'huile contenue en S_1 se trouve dans une capacité close de volume décroissant et ne pourrait s'échapper que grâce aux fuites : on facilite cet écoulement en ménageant dans le corps de pompe des gorges aboutissant aux orifices de refoulement et évacuant le volume d'huile correspondant à l'espace mort.

Pour une pompe de pression, le rendement est d'environ 0,85 ; il atteint 0,9 pour une pompe de vidange.

3 - Pompe à barillet oscillant.

L'aspiration et le refoulement sont assurés par un piston qui se meut dans un cylindre, la distribution de l'huile ayant lieu grace au mouvement d'oscillation de ce cylindre appelé pour celà barillet oscillant.



Le piston P est monté sur un excentrique E qui reçoit son mouvement d'un arbre A commandé par le moteur. L'huile est aspiré en E et refoulée par S, le cylindre C permettant la mise en communication avec l'une ou l'autre de ces lumières sous l'action du piston.

Soient :

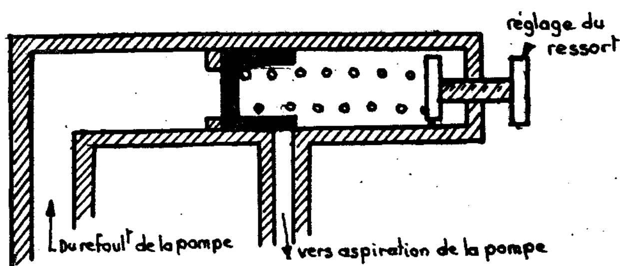
n_1	t/m la vitesse de la pompe
c	la course du piston
2a	l'alésage

On a :

$$Q = \frac{\pi a^2 . c}{10^6} \times n_1 \quad 1/m$$

5 - Clapet de réglage de la pression.

La pression d'huile doit être fixée à une valeur bien déterminée suivant les moteurs. Cette valeur de la pression est assurée par un clapet à ressort court-circuitant l'aspiration et le refoulement de la pompe.



La pression exercée par le ressort peut être réglée au moyen d'une vis de réglage; on règle ainsi la pression de la pompe de graissage, qui est égale au tarage du ressort.

Dans certains cas (Pratt et Whitney) le clapet régulateur n'entre en action qu'au dessus d'une certaine température grace à l'action d'un bi-lame (voir graissage du P et W) ; tant que la θ° huile est inférieure à la θ °de réglage du bi-lame, la pression de refoulement de la pompe de graissage ne dépend que de la vitesse de la pompe et atteint une forte valeur (15 à 17 K). Au dessus de 40°, le bi-lame fait intervenir le clapet régulateur et la pression de l'huile chaude tombe à 7 Kg).

E) - Graissage additionel au départ.

Nous venons de voir un dispositif permettant d'avoir une surpression d'huile au départ et par suite un graissage plus abondant.

Ainsi sur Hispano 12 Y, une dérivation du palier central alimente, par l'intermédiaire d'un clapet commandé par le pilote, une rampe de graissage supplémentaire portant 6 ajustages qui débouchent dans l'axe des embiellages ; au départ, on ouvre le clapet et l'huile arrose les bielles qui la projettent sur les pistons et les cylindres.

Sur Gnôme et Rhône 14 N, une tuyauterie d'injection d'huile au départ amène l'huile au dessus de l'embiellage qui la projette également sur les pistons et les cylindres.

F) - Filtres.

2 types : - à toile métallique, genre Pratt & Whitney (voir graissage du Pratt , Rolls Royce)

- à lamelles (Renault, Hispano 9 V etc...)

G) - Dispositif de dilution d'huile.

Ce dispositif a été étudié pour permettre un lancement plus facile du moteur froid; pour cela, avant l'arrêt, on dilue dans l'huile une certaine quantité d'essence, ce qui diminue la viscosité de l'huile. Il est rappelé que le réservoir d'huile doit alors comporter une colonne alimentaire.

On établit une tuyauterie entre la canalisation de carburant sous pression et le robinet spécial de vidange dans lequel est monté une soupape commandée, tarée par un ressort. La soupape est manoeuvrée à la main du poste de pilotage et avant que le moteur ne soit mis à l'arrêt, par temps froid, on laisse passer une certaine partie de carburant en ouvrant la soupape. On permet ainsi à l'huile diluée de remplacer l'huile à travers tout le moteur, d'où mise en route plus facile. Une partie de l'huile diluée retournant à la colonne alimentaire pendant les dernières minutes du fonctionnement, cette huile sera la première à être utilisée au départ.

Comme on augmente par ce procédé les quantités de vapeur combustible sortant par le reniflard, un tuyau est monté pour conduire ces vapeurs jusqu'à la canalisation du radiateur.

D'autre part, l'huile diluée a tendance à s'écouler dans le moteur à l'arrêt, il faut donc monter sur le filtre du moteur une soupape d'arrêt rappelée sur son siège par un ressort, de telle façon que la pression d'huile due à la gravité soit insuffisante pour faire lever la soupape, qui ne s'ouvrira que sous la pression de la pompe (voir filtre Pratt et Whitney). Ce dispositif est actuellement supprimé.

LES MELANGES D'HUILE

1 - L'expérience a montré que le mélange d'huiles de marques différentes peut avoir des conséquences graves sur la tenue des moteurs, même si les huiles sont de même spécification et de même grade.

Les huiles provenant de pétroles bruts différents, les mélanges d'additifs peuvent être détergents les uns par rapport aux autres et provoquer des décollements de dépôts. De plus, le mélange favorise la formation d'émulsions et une augmentation du pourcentage d'air entrainé dans l'huile ainsi qu'un encrassement accru du moteur ; le graissage de certaines bagues peut être perturbé par des phénomènes de cavitation.

Il est donc impératif en règle général d'éviter les mélanges d'huiles. Si un tel mélange n'a pu être évité, il y a lieu de procéder comme suit :

1 - Mentionner le mélange sur le C. R. Mécanicien, en spécifiant les quantités.

2 - Dès retour de l'avion, vidange complète d'huile.

3 - Remplacement du filtre.

4 - Refaire le plein d'huile.

5 - Faire un point fixe de 15 m et vérifier le filtre.

6 - Utilisation normale du moteur.

2 - <u>Changement de marque d'huile</u>.

1 - Vidange complète réservoir, puisards. Plein à 1/2 réservoir avec la nouvelle huile.

2 - Point fixe de 20 minutes.

3 - Vidange complète.

4 - Remplacement du filtre.

5 - Plein avec la nouvelle huile.

6 - Point fixe de 10 minutes et visite du filtre.

7 - Utilisation normale du moteur.

C H A P I T R E XIII

R E F R O I D I S S E M E N T

LE REFROIDISSEMENT

On sait que sur 100 calories produites, 70 environ passent à l'échappement et au système refroidisseur. Le problème est d'évacuer ces calories

- par l'huile de graissage

- par le refroidissement du moteur

Compte tenu des températures et de leurs variations pendant chaque cycle de fonctionnement, la température moyenne qui intervient au point de vue de l'action des gaz chauds sur les parois a pour valeur approximative 500 à 600°.

Or aucune huile ne peut résister à une température supérieure à 350° C ; au-dessus, l'huile serait décomposée et il y aurait grippage du piston dans le cylindre, ou de l'axe dans le piston etc... De plus, les dilatations seraient très grandes et inégales, et généraient pour les jeux ; les soupapes se déformeraient, la masse de la cylindrée serait diminuée. Il est donc indispensable de refroidir les parois des cylindres et la méthode la plus employée actuellement en aviation est le refroidissement par air.

Les moteurs sont établis de telle manière qu'au moyen de la circulation d'air aucun point à l'intérieur de la chambre d'explosion ne soit à une température supérieure à 500° C ; au dessous de la chambre la température ne doit pas dépasser 250 à 260° C sinon la décomposition des huiles colle les segments dans leur gorge et les gaz passant entre le piston et le cylindre forment un véritable chalumeau qui détériore tout.

Toutefois, le refroidissement des parois ne doit pas être trop énergique pour éviter la diminution de puissance et de rendement par condensation des gaz carburés. Avec l'altitude, la puissance décroit ainsi que la masse d'air utilisée pour le refroidissement.

Pour avoir un bon refroidissement, on est donc conduit à augmenter la surface extérieure du cylindre : c'est pourquoi sa surface extérieure - fût et culasse - est munie d'ailettes. Celles-

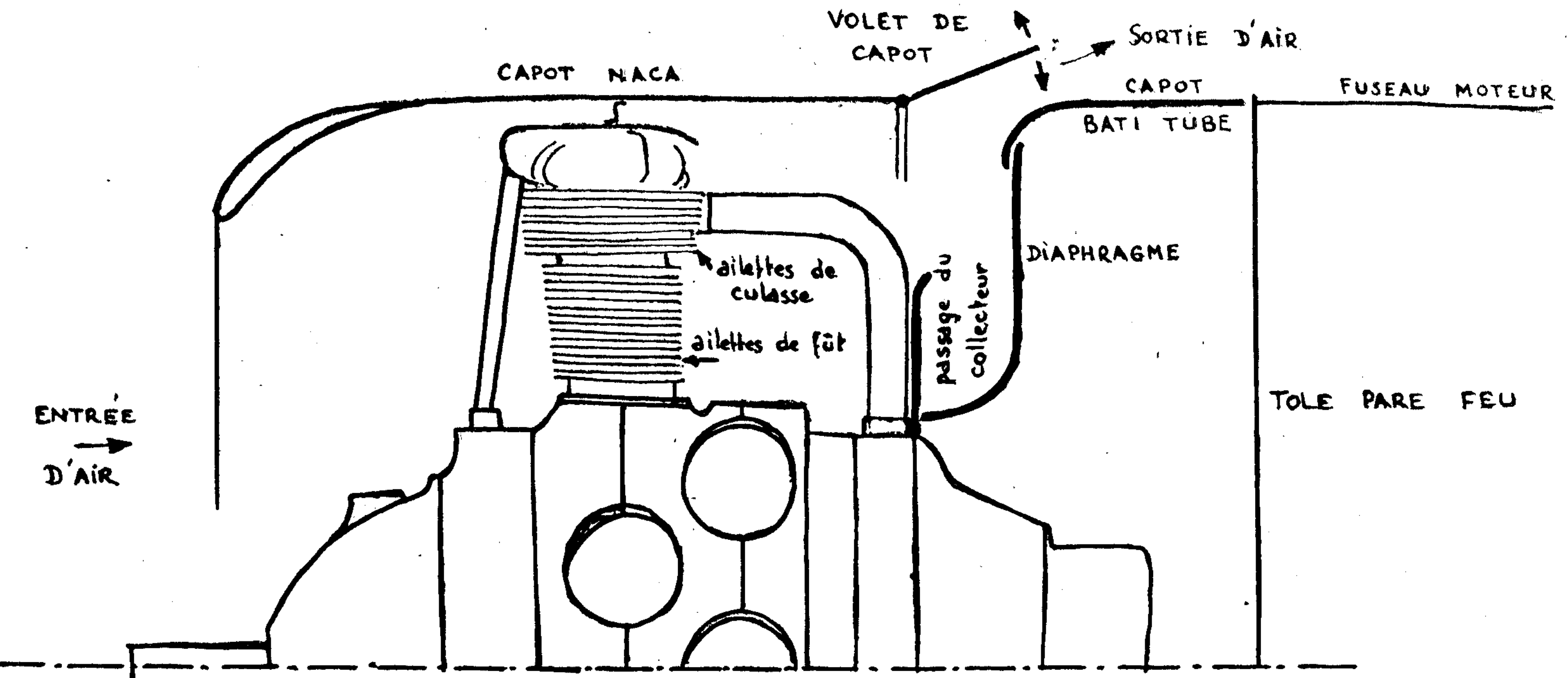
ci sont disposées concentriquement au cylindre sur le fût, et sur la culasse suivant les différents points à refroidir : bougies - soupape A D M - soupape E C H - sortie d' E C H.

La dimension et l'écartement des ailettes varient suivant l'importance du refroidissement à obtenir aux différents points ; elles sont laissées rugueuses pour accroître encore la surface de refroidissement.

Les culasses sont en alliage léger bon conducteur de la chaleur. La quantité d'air passant par seconde sur les parois à refroidir dépend de la vitesse de l'avion. Aussi le refroidissement par air, qui a les avantages de simplicité, de sécurité, de légéreté, d'entretien facile - présente l'inconvénient d'être irrégulier (altitude, saison, contrée, vitesse), et inégal dans les divers points du cylindre, et différent d'un cylindre à l'autre.

Pour assurer un refroidissement aussi correct que possible, on a donc été conduit à monter sur chaque cylindre des déflecteurs (déflecteur de tête ou déflecteur de culasse, déflecteurs de fût) obligeant l'air à circuler régulièrement sur les surfaces à refroidir.

Enfin, il a fallu installer l'ensemble dans des capotages (capot N A C A) régularisant l'écoulement d'air autour du moteur, et munis de volets permettant de faire varier les sections de sortie, donc la vitesse de l'air sous le capot et par suite l'intensité du refroidissement.



Coupe schématique d'un capotage
(déflecteurs cylindre-fût non représentés)

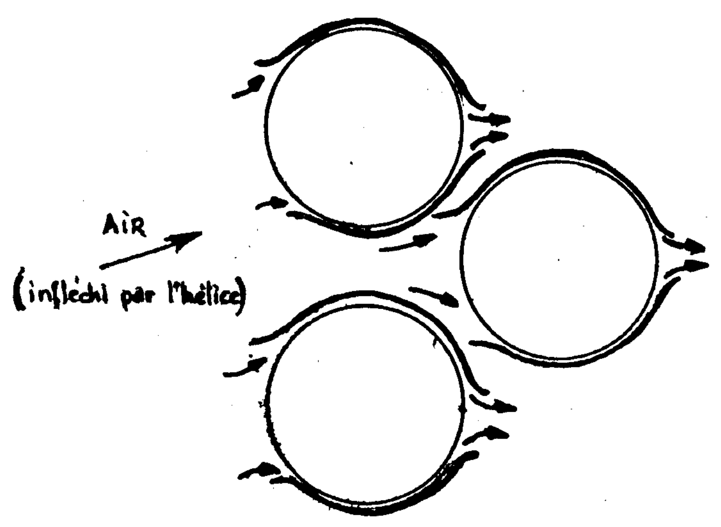


Schéma de montage des déflecteurs de fût

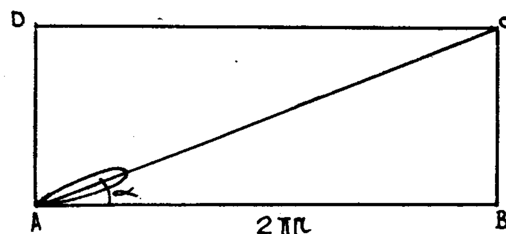
C H A P I T R E XIV

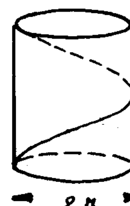
H E L I C E S

R E N D E M E N T D U G M P

H E L I C E

1°) - Hélice géométrique.





Si on roule en cylindre le rectangle A B C D sur lequel on a tracé la diagonale A C, on obtient un cylindre de rayon r sur lequel la diagonale du rectangle devient une hélice.

Le pas de cette hélice, ou pas géométrique est :

$$BC = H = 2\pi\ r.\text{tg}\ \alpha$$

Ce serait l'avancement de la pale pour 1 tour de l'hélice, s'il n'y avait aucun recul.

2°) - Définitions.

- On appelle diamètre d'une hélice le diamètre du cercle décrit par les bouts de pales quand l'hélice tourne ;

- Le centre de l'hélice est le point de concours des axes de rotation des pales, quand celles-ci sont mobiles par rapport au moyen ;

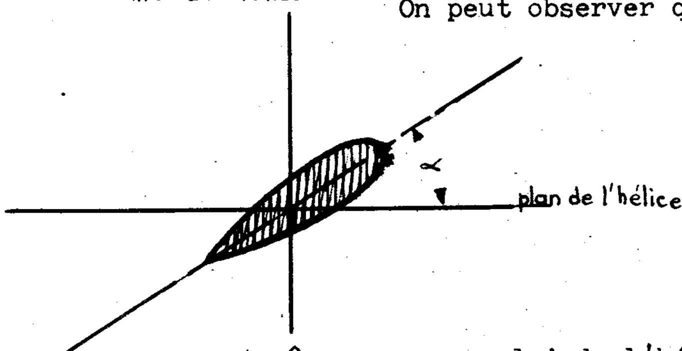
- quand l'hélice tourne, cet axe décrit un plan perpendiculaire à l'axe de l'hélice : c'est le plan de l'hélice ;

- Si on coupe la pale perpendiculairement à son axe, on obtient un contour appelé profil ; ce profil peut être plan convexe ou bi-convexe avec intrados presque plat.

3°) - Caractéristiques géométriques.

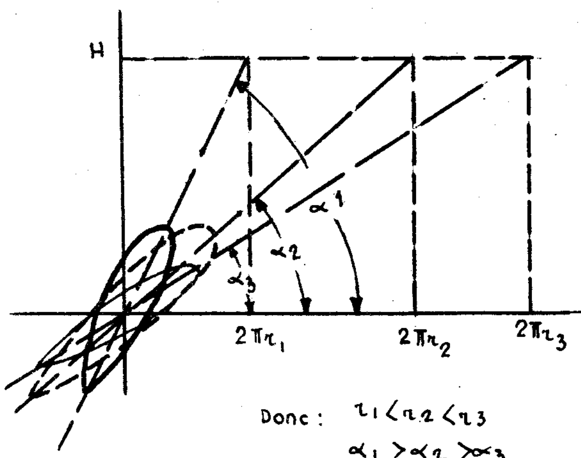
Pour définir l'orientation d'un profil, on choisit la corde de ce profil et on mesure l'angle formé par cette droite avec le plan de l'hélice. Cet angle est l'angle de calage qui n'est pas le même tout le long de la pale et qui va en décroissant depuis le pied de pale jusqu'à son extrémité.

L'orientation des différents profils les uns par rapport aux autres est obtenue à la fabrication, une fois pour toutes. Par suite pour définir l'orientation de la pale par rapport au plan de l'hélice, il suffit de connaitre l'angle de calage d'une section de référence, choisie par exemple à 1 m de l'axe de l'hélice, où à une distance 0,7 R suivant les cas.



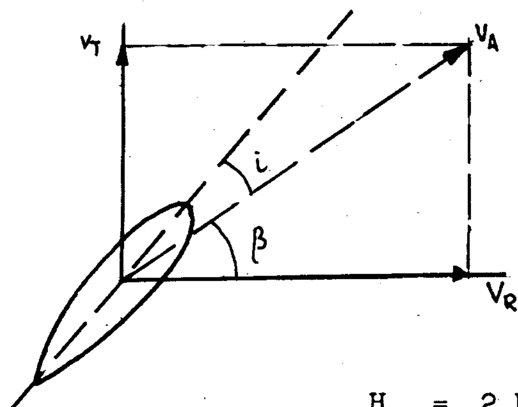
On peut observer que la forme générale des profils varie le long de la pale, le profil étant épais vers le pied de pale pour devenir mince à l'extrémité de celle-ci.

Au cours du fonctionnement de l'hélice, la corde de chaque profil reste constamment tangente à une hélice géométrique ayant même axe que celui de l'hélice ; par suite on peut définir un pas géométrique pour chaque section de l'hélice. Mais alors que pour les différentes sections de pale les calages sont différents, les pas géométriques peuvent être identiques tout le long de la pale. L'hélice est alors dite à pas constant, mais cette valeur n'est en général vérifiée que pour un calage donné α de la section de référence. Très souvent les pales sont dessinées pour avoir un pas constant lorsqu'elles ont l'orientation correspondant à l'utilisation la plus fréquente.



Remarquons que l'appellation d'hélice à pas variable donnée aux hélices dont on peut modifier l'orientation des pales par rapport au moyeu correspond en réalité à faire varier le calage de référence des pales, alors qu'on peut avoir des hélices à pas fixe ayant le pas géométriquement variable, et dont l'orientation par rapport au moyeu reste invariable.

<u>Angle d'attaque</u> : Par suite de la superposition des mouvements de translation et de rotation, chaque section de pale se trouve animée par rapport à l'air d'une vitesse V_A qui est la résultante. géométrique de la vitesse de rotation et de la vitesse de translation. On peut définir V_A par l'<u>angle d'attaque</u> β que fait sa direction avec le plan de rotation et on a :



$$\text{tg}\ \beta = \frac{Vt}{Vr} = \frac{Vt}{2\ \Pi r.n}$$

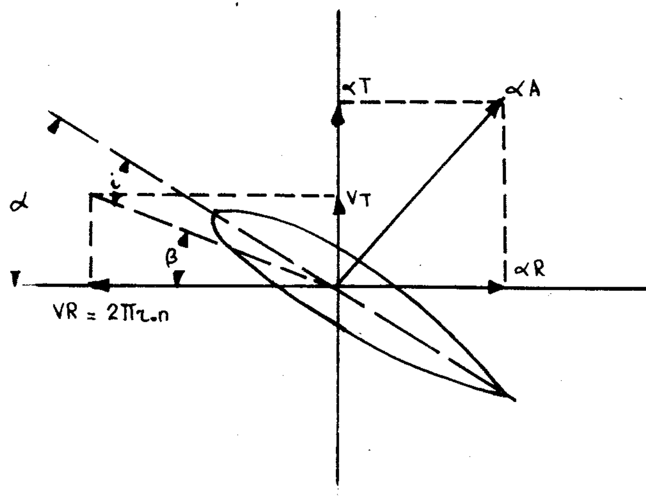
On peut introduire une nouvelle caractéristique, le pas aérodynamique H_1 on avance par tour - qui donne la distance dont avance l'avion à chaque tour d'hélice.

$$H_1 = 2\ \Pi\ r.\text{tg}\ \beta = \frac{V_t}{n}$$

En fonctionnement normal, l'angle d'attaque β est plus petit que l'angle de calage α et la différence entre les 2 caractérise l'incidence i. Par suite, le pas aérodynamique est plus petit que le pas géométrique, et la différence entre les 2 est le <u>recul</u> de l'hélice.

4°) - <u>Action des pales</u>.

Considérons un élément de pale à une distance r de l'axe ; on peut l'assimiler à un élément d'aile se déplaçant sous une incidence i à une vitesse V_A.



Il sera soumis de la part de l'air à une force aérodynamique d_A qui pourra se décomposer en une composante de traction dT et une composante résistante dR, cette dernière ayant une direction opposée à la vitesse tangentielle de rotation ; agissant à une distance r de l'axe elle donne un moment qui s'oppose au moment moteur.

Si on fait la somme pour toutes les pales, on a :

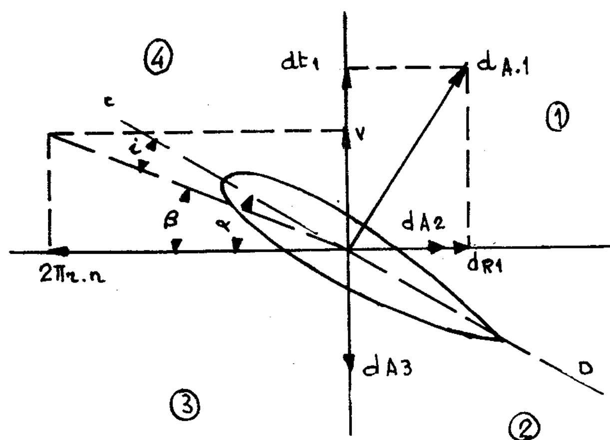
- une résultante de traction T

- un moment général résultant M_R qui tend à s'opposer à la rotation de l'hélice en équilibrant le couple moteur.

Du fait de l'origine aérodynamique, l'action des pales dépendra étroitement de l'angle d'incidence, c'est-à-dire en fin de compte de l'angle de calage. Le fonctionnement de l'hélice sera donc d'autant plus satisfaisant que le calage se rapprochera du calage optimum ; pour fonctionner à toutes les vitesses, on aura intérêt à pouvoir modifier le calage d'ensemble des pales de manière à ce que toutes les sections travaillent au voisinage de l'incidence optimum.

Supposons maintenant constante la vitesse de rotation ainsi que le calage, et faisons varier la vitesse d'avancement V.

a) Quand V = 0, l'incidence aérodynamique est , la résultante des efforts aérodynamiques est sensiblement perpendiculaire à la corde C D du profil : c'est le point fixe, avec traction et couple (forces en jeu : dA, décomposée en dT_1 et dR_1).

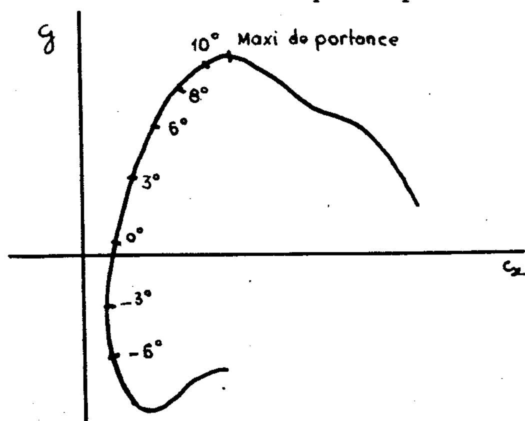


b) Si V augmente, l'incidence diminue légèrement mais les efforts élémentaires restent dans les même sens ; un peu avant que l'incidence soit nulle, la résultante devient dA_2 dont dT_2 est nul : c'est le régime de traction nulle.

c) V augmentant encore, la résultante passe dans le quadrant 2. Pour β légèrement supérieur à α , elle est en dA_3 et par suite dR_3 est nul. C'est le régime de puissance nulle ; dT devient négatif, l'élément de pale engendre une composante de trainée et absorbe de la puissance : l'hélice fonctionne en hélice frein.

Il suffit d'un faible écart d'incidence pour passer de dA_2 à dA_3 ; la plage de fonctionnement est donc très étroite et la résultante est très faible.

d) pour les vitesses V assez élevées, la résultante passe dans le quadrant 3 ; dT est négatif et dR est positif. Par sa traction négative, l'élément freine mais il fournit de la puissance c'est le fonctionnement en moulinet qu'on peut trouver en piqué avec un calage faible.



De tels résultats pourraient se déduire de la polaire du profil où on constate des portances négatives pour des angles d'incidence inférieurs à 0°.

Lois régissant les tractions et les couples résistants.

a) traction ou poussée :

$T = K_t \cdot n^2 D^4 \delta$, d'où intérêt d'un grand diamètre.

b) puissance nécessaire :

$P = K_p \cdot n^3 D^5 \delta$, d'où intérêt d'un grand diamètre.

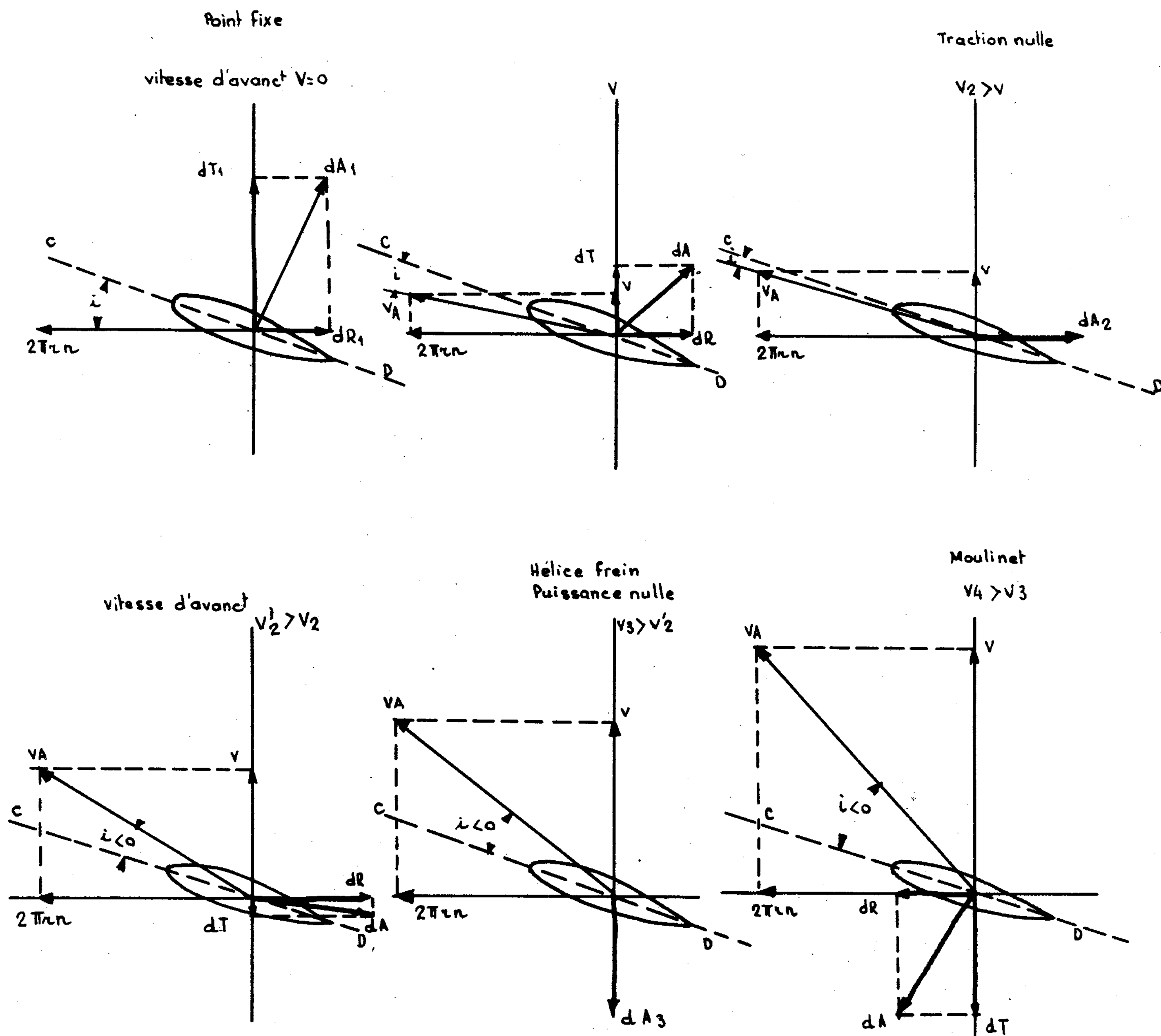
c) puissance utile :

$P_u = T. V = K_t n^2 D^4 \times V \times \delta$, d'où intérêt d'un grand diamètre.

d) rendement : rapport de la puissance utile à la puissance nécessaire pour faire tourner

$$\rho = \frac{P_u}{P} = \frac{K_t n^2 D^4 . V . \delta}{K_p n^3 D^5 . \quad \delta}$$

$$\rho = \frac{K_t}{K_p} \cdot \frac{V}{n D}$$



Hypothèses – $N^t/m = C^{te}$ donc $2\pi rn = c^{te}$
– angle de calage constant
– vitesse d'avancement variable

e) couple résistant ($P = C_\omega$ d'où $C = \frac{P}{\omega}$)

$\omega = 2 \Pi n$

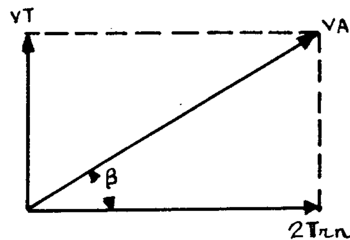
$P = 2 \Pi n C$

$C = K_c . n^3 D^5 \delta$

Influence des différentes caractéristiques de l'hélice sur son fonctionnement.

La traction fournie et la puissance absorbée sont fonction d'un certain nombre de facteurs.

- Vitesse aérodynamique V_A :



Il faut éviter que, vers les extrémités de pale, on approche ou atteigne le domaine de compressibilité dans lequel le fonctionnement aérodynamique devient défectueux, la trainée augmente et la portance diminue. Pour les grandes V_A, donc pour les grandes V_T, il faudra diminuer la vitesse périphérique soit en réduisant le nombre de tours, soit e en réduisant le diamètre de l'hélice. Pour conserver les valeurs désirées de traction et de puissance, il faudra agir sur d'autres facteurs.

- qualité aérodynamique des profils.

Il faudra donc choisir des profils de grande finesse, même à écoulement laminaire.

- surface des pales, qui dépend de la longueur de la pale, et de sa largeur. L'augmentation de largeur permet d'augmenter la traction fournie et la puissance absorbée ; cependant, on constate une baisse de rendement par l'augmentation des frottements de l'air sur les surfaces. De plus, l'augmentation de surface entraine une augmentation de la puissance nécessaire aux modifications de calage.

- forme des pales, la forme rectangulaire favorisant les performances de montée.

- nombre de pales : on ne peut dépasser 4 pales par suite des intéractions aérodynamiques, par suite des difficultés mécaniques de réalisation, du volume atteint par le noyeu qui peut alors géner l'alimentation ou le refroidissement du moteur.

- hélices doubles avec hélices contrarotatives suppriment le couple de renversement si elles tournent en sens inverse, améliorant le fonctionnement aérodynamique par redressement de la veine d'air derrière la première hélice, permettant de réduire le diamètre et le nombre de pales de chaque hélice.

Adaptation hélice-moteur.

Pour qu'une hélice soit correctement adaptée au moteur qui l'entraine, il faut qu'en toute circonstance, elle freine exactement le moteur c'est-à-dire qu'elle absorbe à une vitesse de rotation donnée et à une vitesse de translation donnée, une puissance strictement égale à celle que peut fournir le moteur à la vitesse de rotation considérée et que, si possible, le rendement de l'ensemble soit le meilleur.

On comprend que pour un calage donné de pale il n'existera qu'une vitesse de translation V_o pour laquelle l'équilibre sera réalisé (puissance absorbée par l'hélice = puissance fournie par le moteur) pour une vitesse de rotation donnée.

Pour les vitesses de translation $V_1 > V_0$, l'angle d'attaque augmente et par suite l'angle d'incidence diminue si l'angle de calage reste constant ; le moteur tendra à s'emballer et il faudra réduire sa puissance, donc s'éloigner des conditions optimum de fonctionnement du moteur. La puissance fournie étant inférieure, la traction diminuera et la vitesse V_1 ne pourra être maintenue.

Si on prend $V_2 < V_0$, l'hélice demandera au moteur plus de puissance qu'il peut fournir d'où freinage exagéré ralentissant le moteur et diminuant la puissance ; la traction sera plus faible et V_2 ne pourra être maintenu.

Seule une variation de l'angle de calage permet une adaptation correcte ; comme il n'est pas possible de faire varier les angles de calage les uns par rapport aux autres, seule une rotation en bloc de toute la pale autour de son axe permettra de faire varier le calage et on aura ainsi une hélice dite communément à pas variable.

On peut ainsi obtenir une utilisation correcte à tous les régimes, surtout pour les avions modernes possédant un grand écart de vitesse.

Au décollage, pour une même vitesse de rotation l'incidence augmente considérablement, entrainant une diminution de la traction utile et une augmentation de la puissance absorbée ; le moteur trop freiné ne peut alors donner sa puissance maximum et il faut réduire le freinage du moteur par l'hélice en diminuant l'incidence par diminution du calage.

En montée, la vitesse de translation est plus élevée et on pourra admettre un pas plus élevé permettant au moteur de fournir le couple maximum.

En croisière, où la vitesse de vol est grande, le calage pourra être plus important.

En piqué, la vitesse augmente et la puissance absorbée par l'hélice diminue ce qui risque d'amener un emballement du moteur ; il faut donc augmenter le calage.

Enfin, sur un multimoteur, il faut pouvoir arrêter un moteur en panne pour éviter une trainée inutile ; c'est la mise en drapeau où l'angle de calage est voisin de 90°.

Enfin, un réducteur entre le moteur et l'hélice permettra à chacun de tourner à sa vitesse optimum, ces 2 vitesses moteur et hélice n'étant pas égales.

De plus, il existe des hélices pouvant avoir des calages négatifs ; la traction négative fournit alors une action freinante : ce sont les hélices reversibles.

CHAPITRE XV

DESCRIPTION HELICES

H A M I L T O N   H Y D R O M A T I Q U E

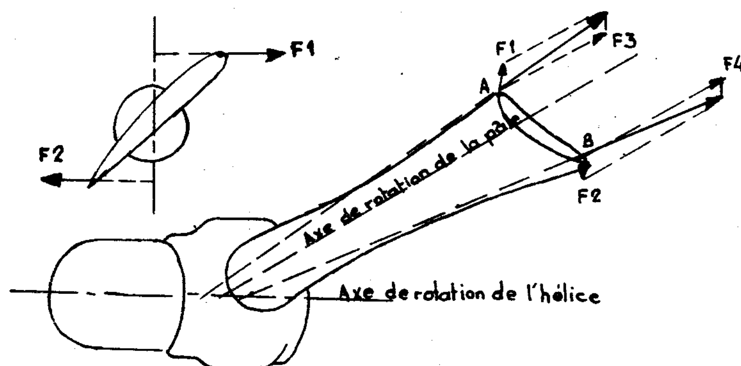
à vitesse constante

et mise en drapeau rapide

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

a) - Forces agissantes.

1° couple de torsion centrifuge, aidant à la mise au P P.



Les forces centrifuges sur 2 éléments A et B de la pale se décomposent en F_3 - F_4 annulées par la résistance à la traction de la pale - et F_1 F_2 couple tendant à mettre la pale au P P.

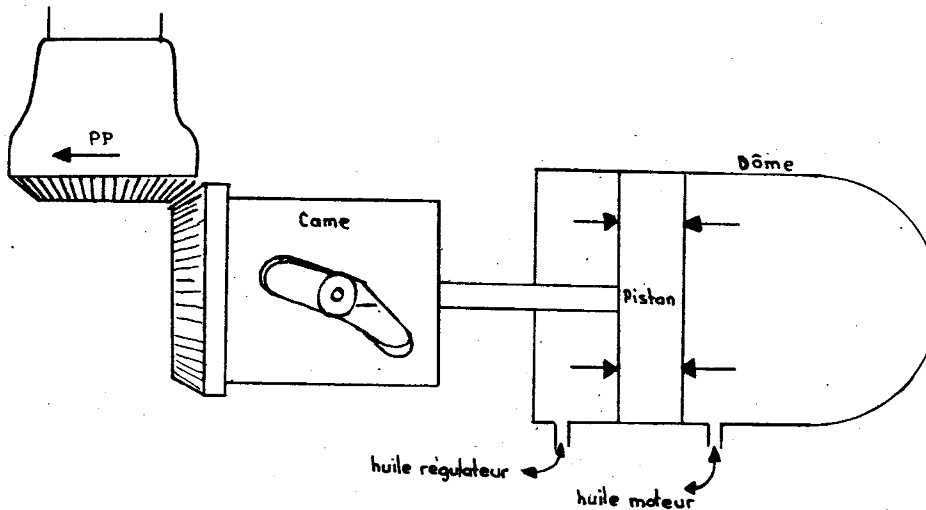
2° huile moteur à pression normale, pour mise au P P

3° huile moteur sous pression poussée par le régulateur, pour mise au G P . (14 kg)

4° huile à haute pression (28 kg) pour mise en drapeau

5° huile à très haute pression (42 kg) pour dévirage

b) - Application de ces forces.



Les pressions d'huile sont appliquées sur un piston coulissant dans le dôme et commandant la rotation d'une came mobile par l'intermédiaire de galets se déplaçant dans des rampes (inclinaison 35° pour marche à régime constant).

L'inclinaison des rampes règle la vitesse de variation de pas, d'où 2 inclinaisons : une pour le régime constant, où la variation de pas n'a pas besoin d'être très rapide - une pour la mise en drapeau, très inclinée, donnant une grande vitesse de variation.

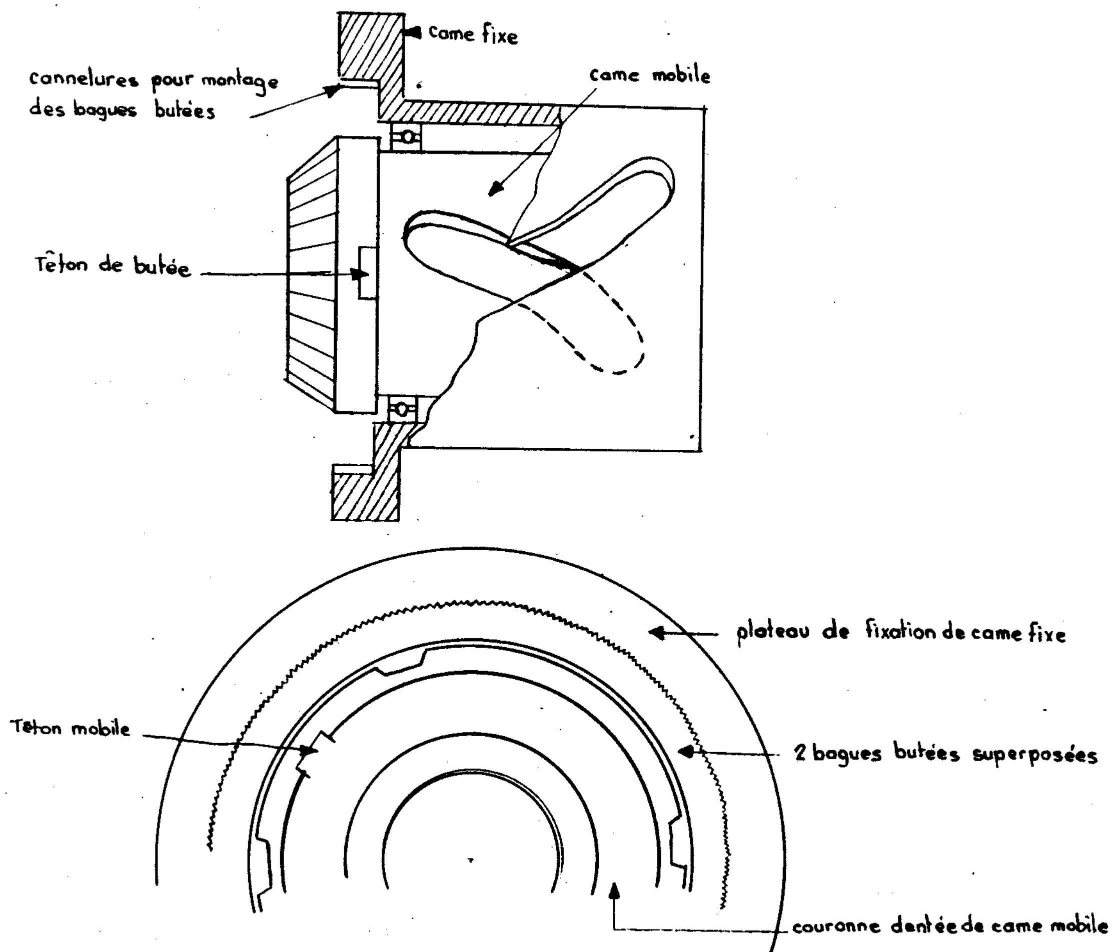
Cette différence de pente nécessite l'emploi d'huile à haute pression pour la mise en drapeau ou le dévirage.

REALISATION.

Il faut assurer le guidage du piston, sinon ce serait lui qui tournerait et non la came. On emploie pour celà une 2ème came cylindrique concentrique à la première, boulonnée sur le carter de l'hélice, et munie de rampes symétriques à celles de la came mobile. Ce procédé permet de doubler la rotation de la came mobile pour une même course du piston, par rapport à la rotation qui serait obtenue par un guidage rectiligne.

BUTEES DE G P ET P P

Des bagues formant butées G P & P P sont montées par cannelures sur la came fixe et viennent limiter la rotation de la came mobile. Chaque dent correspond à un changement de réglage de 1° (288 dents et réduction de 4 / 5 entre la came rotative et les pales)



DESCRIPTION DE L'HELICE.

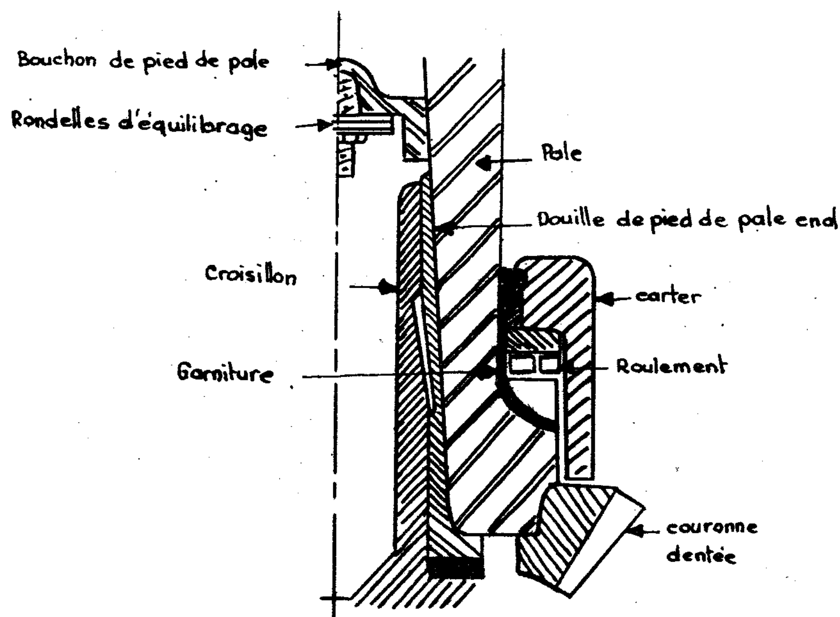
3 ensembles principaux.

a) Ensemble du moyeu et des pales.

avec 3 pièces principales : croisillon, carter, pales.

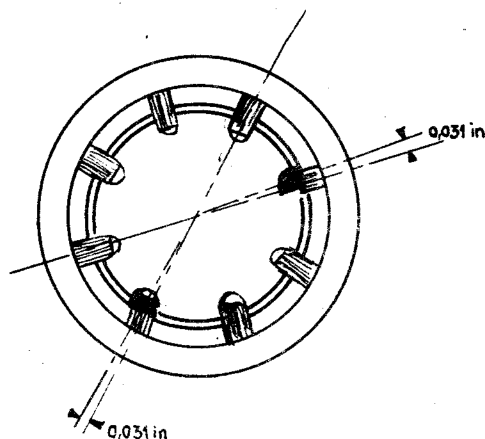
Le croisillon est monté par cannelures sur l'arbre porte-hélice , centré par 2 sièges cônes ; ses bras supportent les pales et encaissent les efforts de torsion.

Le carter est centré sur le croisillon par des blocs en matière plastique, et des épaulements prenant les charges centrifuges des pales et les transmettant à l'ensemble du carter, par des roulements à rouleaux.



Les pales, en alliage d'alu comportent un pied creux obturé par un bouchon servant de support à des rondelles d'équilibrage ; dans le pied est emmanchée une douille en bronze d'alu. qui supporte la pale sur le bras du croisillon. Le roulement à rouleaux est en 2 pièces et pour éviter la concentration des charges et éliminer les frictions, une bague de friction coiffe le pied de pale.

L'assemblage de la couronne dentée avec la pale est assuré de façon élastique, par des ressorts Deux cages n'étant pas symétriques, elles vont supporter la charge initiale des engrenages. Pour cette raison, il n'y a qu'une seule position angulaire pour laquelle on peut placer une douille sur un type donné d'hélice. (Pour une hélice, tractive, sur moteur, la flèche sur le flasque de la douille doit être en face du " Tractor blade " gravé sur le pied de pale.



b) Ensemble du dôme.

Comprend le mécanisme de changement de pas : cames cylindriques coaxiales - piston à double effet, dôme (système déjà étudié).

Les 2 cames tournent l'une sur l'autre par 2 roulements à billes qui prennent les réactions des engrenages et les forces hydrauliques du piston.

Le mouvement du piston est transmis à la came mobile par 4 jeux de galets.

c) Ensemble de la soupape de distribution.

Double effet :

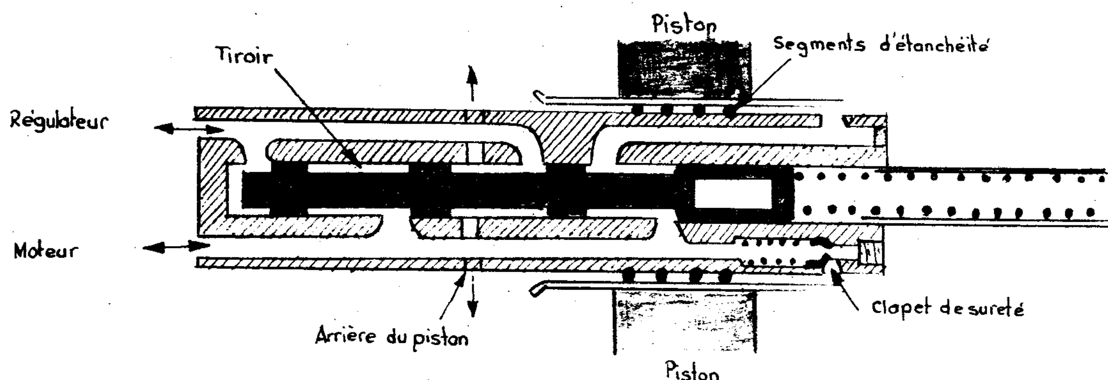
1° à régime constant elle permet :

a) à l'huile du régulateur, d'aller derrière le piston ou d'en revenir

b) à l'huile moteur, de revenir ou d'aller devant le piston

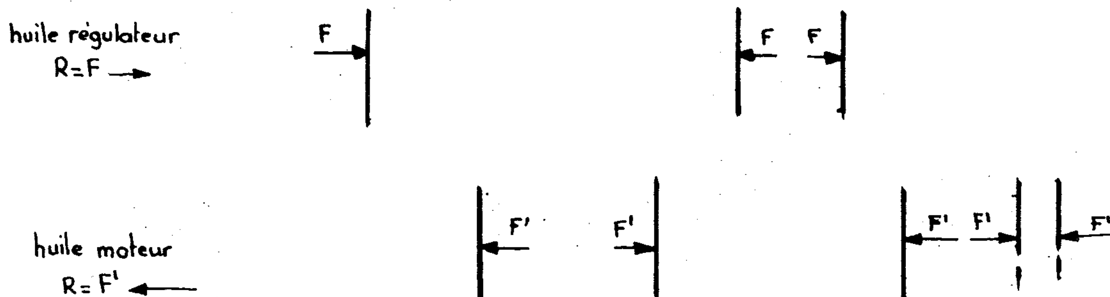
2° en mise en drapeau, ces mêmes liaisons permettent l'envoi d'huile à forte pression derrière le piston, et de vidanger dans le moteur celle qui se trouve devant le piston.

3° en dévirage, la soupape se déplace, les liaisons sont renversées ; la très haute pression arrive devant le piston, l'huile qui se trouve derrière le piston est vidangée dans le moteur.



DEPLACEMENT DE LA SOUPAPE.

Si on regarde les faces du tiroir soumises à la pression on constate la disposition suivante :



Comme F' < F, dans le cas le plus défavorable (débit nul, le moteur est au régime choisi par le régulateur), le tiroir est soumis à une force F - F' tendant à comprimer le ressort R.

Pendant la marche à régime constant, F - F' est faible et la soupape ne bouge pas.

Pendant la mise en drapeau, F - F' a augmenté (28 kg nécessaire pour la mise en drapeau) mais n'est pas encore supérieure au tarage de R.

Pendant le dévirage, F - F' augmente encore, quand la pression dépasse 28 kgs, le tiroir commence à se déplacer ; à 32 kgs le déplacement est achevé, et la pression continue à augmenter jusqu'à 42 kgs, valeur pour le dévirage.

La pression est alors limitée à cette valeur par le clapet de sureté, qui agit lorsque l'hélice arrive en butée P P et que le système ne s'arrête pas.

REGULATEUR.

Le régulateur est du type à masselottes centrifuges et tiroir coulissant, les mouvements du tiroir étant commandés par l'ouverture des masselottes.

Une pompe à huile formant corps avec le régulateur est alimentée en huile à la pression du moteur et élève la pression de cette huile jusqu'à une valeur suffisante pour assurer le mouvement vers le grand pas ; le clapet de surpression de cette pompe est conçu de façon à ce que la pression moteur s'exerce derrière le clapet de telle sorte que, quelle soit la pression moteur, le clapet fonctionne toujours pour une pression de sortie supérieure à celle d'entrée de la valeur du tarage du ressort.

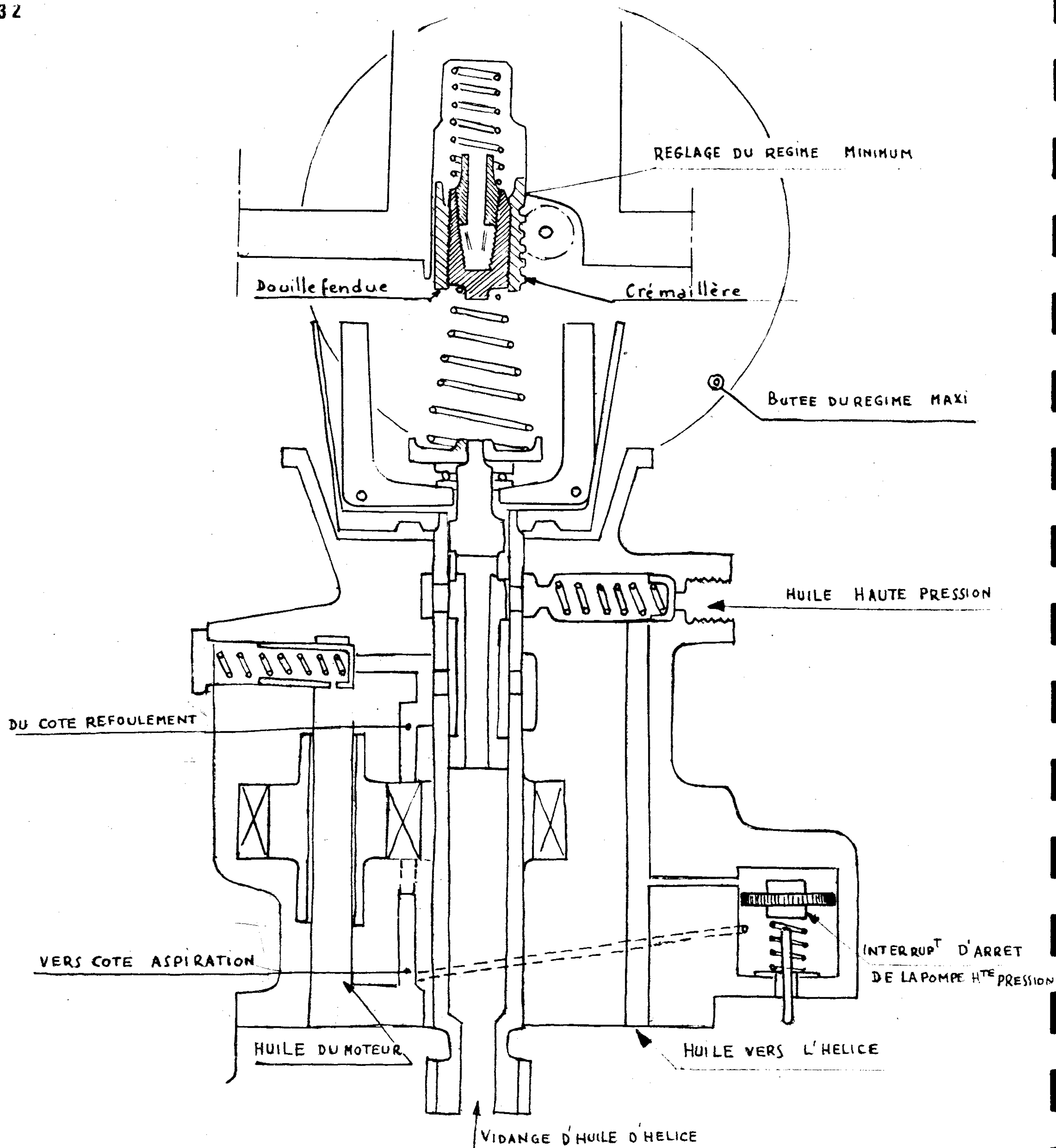
Le régulateur comprend en outre, un clapet d'isolement permettant d'envoyer la haute pression à l'hélice sans que celle-ci pénètre dans le corps du régulateur ; sur son socle, on trouve enfin un contact automatique permettant d'arrêter le système auxiliaire de mise en drapeau quand l'hélice arrive en butée de drapeau.

Lorsque le tiroir est en position basse, ce qui correspond aux masselottes fermées, il permet le retour de l'huile qui se trouve derrière le piston de l'hélice, et par suite, le mouvement vers petit pas. Au contraire, en position haute, il permet à l'huile d'aller derrière le piston, envoyant l'hélice au grand pas ; les masselottes sont alors ouvertes.

A l'arrêt les masselottes sont maintenues fermées par un ressort conique prenant appui sur une douille fendue vissée dans une crémaillère, laquelle est commandée en position par un pignon fixé sur l'arbre du volant du régulateur (ou sur l'arbre du moteur électrique, lorsqu'on a un régulateur à tête électrique). Plus le ressort sera dur c'est-à-dire plus la crémaillère sera basse - et plus le moteur devra tourner vite pour que les masselottes puissent ouvrir. Quand elles occuperont la position de la figure, on marchera à régime constant, la moindre variation de vitesse permettant l'envoi d'huile à hélice ou au contraire en permettant le retour.

En agissant sur le réglage de ce ressort, on agira sur le moment où le régulateur entrera en action : on réglera le régime minimum. Pour cela, on mettra la crémaillère en butée en position haute puis on vissera ou dévissera la douille fendue pour obtenir le réglage désiré (un tour de la douille = 250 t / m).

D'autre part, lorsque la crémaillère sera en position basse, le ressort conique sera très comprimé et le moteur devra tourner très vite pour que le régulateur entre en action ; on règlera le régime maximum en agissant sur cette position de la crémaillère. Pour cela on déplacera la butée de régime maximum sur le pourtour du volant



RÈGULATEUR "HAMILTON"

de commande (1 déplacement de 1 trou = 250 t / m).

REMARQUE.

Au-dessus de la crémaillère se trouve un 2ème ressort agissant en sens inverse du ressort conique. Si le cable de commande de régulateur venait à casser, la crémaillère prendrait, sous l'influence des 2 ressorts une position d'équilibre plaçant le régulateur dans une position telle qu'il assurerait la marche à régime constant pour un régime compris entre le régime de croisière et le régime maximum.

SYSTEME A HAUTE PRESSION D'HUILE.

Plusieurs systèmes peuvent être employés :

- 1°) Le système individuel de pompe commandée par moteur électrique, le groupe étant installé dans le fuseau moteur.

- 2°) Le système à pompe centrale, l'huile étant distribuée à chaque hélice par des robinets à voies multiples.

- 3°) Le système hydraulique de l'avion, avec distribution aux hélices par soupapes sélectives.

FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE.

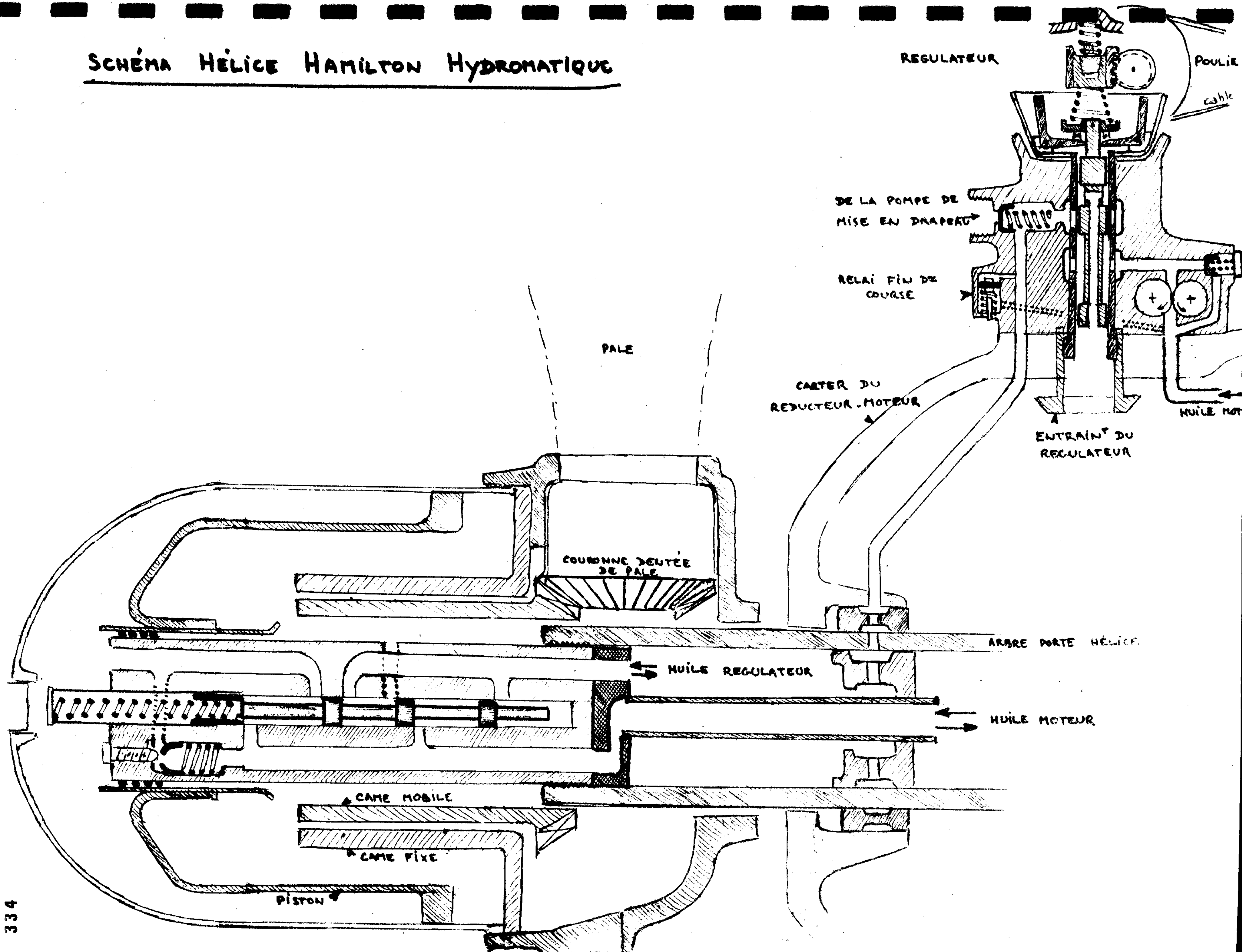
A) Vitesse constante.

La pale est toujours sollicitée vers son pas le plus faible par le couple centrifuge, modifié par le couple aérodynamique de torsion de la pale lequel, en vol normal, est assez réduit mais sollicite la pale vers le G P.

En plus du moment centrifuge, pour assurer la force nécessaire au passage au P P, il y a la pression d'huile du moteur qui agit sur la face extérieure du piston.

La force de commande pour le passage au G P est obtenue par l'admission de la pression d'huile du régulateur qui agit sur la face interne du piston, pression qui s'oppose aux forces tendant à ramener au P P.

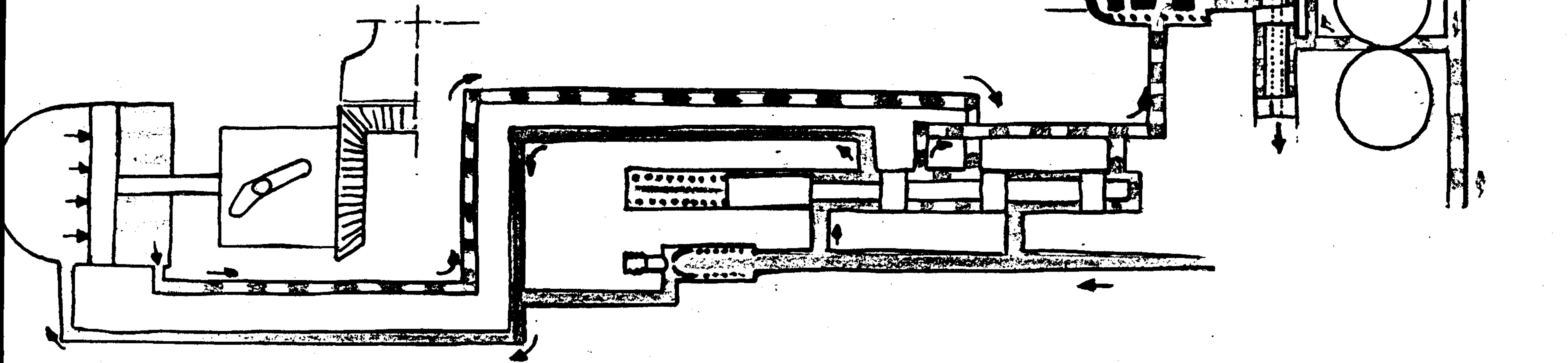
Schéma Hélice Hamilton Hydromatique



Nt/m constant.

Le moteur ralentit

Schéma A



Nt/m constant

Le Moteur Accélère

MISE EN DRAPEAU

Schéma B.

Moteur

DÉVIRAGE

Moteur

Donc suivant que le régulateur admettra ou vidangera l'huile dans la partie interne du cylindre, le pas de l'hélice augmentera ou diminuera de façon à maintenir le régime constant.

Voir schéma - A -

Il est à remarquer que la pression exacte pour passer à un pas plus grand est la différence entre les pressions qui s'exercent de part et d'autre du piston. Cette pression varierait suivant les variations de pression d'huile du moteur si le clapet de décharge du régulateur n'était équilibré, l'huile moteur arrivant sur l'arrière du clapet à la même pression que dans la partie avant du cylindre ; la pression maximum disponible pour faire avancer le piston est donc sensiblement égale à pression de tarage du ressort.

Ce ressort est ajusté pour fournir une pression de :

12 k 6 / cm2 (avec pales 6153 et 6159)

21 k 5k/ cm2.

suivant les pales.

Il est à noter que la soupape de distribution d'huile ne fonctionne pas pendant la marche à régime constant.

En effet, le ressort de soupape de distribution (équilibré par la pression huile moteur) est tel qu'il faut une pression de 28 k / cm2 pour faire reculer la soupape, alors que le régulateur ne peut donner plus de 21,5 k / cm2. Si donc la soupape se déplace, elle ne le fera que très légèrement.

Pendant la marche à vitesse constante, la rampe la moins inclinée est utilisée, elle donne une course d'angle de pale de 35°, normalement de 10° à 45° à 1 m 06 de l'axe.

B) Mise en drapeau. (voir schéma B)

Elle est accomplie par une source indépendante de pression d'huile ; cette huile est admise à la partie arrière du cylindre à des pressions suffisantes pour permettre aux galets de se déplacer

sur la rampe de mise en drapeau.

A la pression de 10,700 k, la soupape d'obturation du régulateur débranche celui-ci et l'huile à haute pression est envoyée au cylindre par le même circuit que l'huile du régulateur. Dans tous les cas la pression est inférieure à 28 k / cm2 car, à cette valeur la soupape de distribution se déplace.

Lorsque la mise en drapeau est complète, le mouvement se trouve arrêté par les butées du grand pas sur la came fixe ; la pression augmente alors rapidement et, dès qu'elle atteint 28 k / cm2, la pompe à huile est automatiquement arrêtée. La pression des 2 côtés du piston tombe alors et l'hélice reste en drapeau car les pales sont en équilibre.

Donc pendant ce temps, la soupape de distribution n'a pas encore fonctionné.

C) Dévirage. (voir schéma B)

Consiste essentiellement dans l'inversion des passages de la pression d'huile dans la soupape de distribution de manière que l'huile à haute pression agisse maintenant sur la face extérieure du piston.

Quand la pression atteint 28 k / cm2, la soupape de distribution recule (schéma B) reliant ainsi l'arrière du cylindre au circuit d'huile du moteur tandis que la partie avant est reliée à la haute pression d'huile (42 k / cm2).

Le piston recule alors, actionne les pales qui commencent dès lors à tourner et le retour au pas normal est aidé par le moment centrifuge des pales. Quand le régime atteint la valeur désirée, on arrête la pompe à haute pression, la soupape d'obturation du régulateur revient à sa position normale et celui-ci entre en fonctionnement.

Le clapet de décharge du dôme est destiné à prévenir les pressions excessives dans la partie extérieure du cylindre au cas ou l'hélice serait dévirée jusqu'à ce qu'on arrive en contact avec les butées du petit pas. Dans ce cas, la pression monterait jusqu'au maximum pouvant être fourni par la pompe. Le clapet de décharge du dôme

est ajusté de manière à limiter cette pression et il est à noter qu'il est lui aussi équilibré.

Ce clapet ne fonctionne pas en vol car pendant le dévirage, l'hélice tourne en moulinet et les vitesses excessives apparaitraient avant que ne soient atteintes les butées de petit pas.

FONCTIONNEMENT DU GROUPE MOTEUR - HELICE -

1°) - Essai au sol du régulateur.

a) Après le montage dé l'hélice, amener l'hélice au P P en agissant sur les pales et vérifier les angles des pales.

Ne jamais dévirer à la pression d'huile sans avoir fait cette vérification.

b) Mettre le régulateur au maximum, démarrer et réchauffer. Dès le démarrage, la partie extérieure du cylindre se remplit d'huile moteur e et l'hélice est maintenue au P P.

c) Lorsque le moteur est chaud, ouvrir la manette des gaz pour obtenir une vitesse de rotation plus élevée : 1800 t / m par exemple et mettre le régulateur au régime minimum. L'hélice va passer au G P et le régime baissera jusqu'à être celui déterminé par le régulateur. En actionnant plusieurs fois la commande du régulateur comme ci-dessus (entre 1800 t / m et régime minimum), on éliminera tout l'air se trouvant à l'intérieur du système.

d) On avance alors le régulateur au régime maximum et on ouvre les gaz en grand pour les vérifications habituelles.

2°) - Essai au sol de mise en drapeau et de dévirage.

Comme il y a plusieurs moyens d'obtenir l'huile sous pression et à cause des limitations prescrites par les fabricants de moteur sur les huiles à faible viscosité, il ne peut être prévu de façon définitive un essai pour chaque installation. On établira une manière de faire conforme avec les besoins de l'installation et en

accord avec les directives du constructeur du moteur.

Lorsqu'on utilise le système pompe-moteur indépendant, il est recommandé :

a) de réchauffer complètement

b) à 1500 t / m et 560 m / m, fermer le contact de commande de l'hélice : lorsqu'elle sera en drapeau, le contact s'ouvrira automatiquement et le régime sera de 500 t / m.

c) fermer alors le contact et le maintenir fermé, l'hélice dévirée et N = 1000 t / m

d) relâcher alors le contact et l'hélice passe à la commande du régulateur à 1500 t / m

3°) - Mise en drapeau et dévirage en vol.

1° - a) pousser le contact de mise en drapeau

b) fermer les gaz

c) régler le contrôle de mélange " coupé-ralenti "

d) fermer l'essence

e) couper le contact

2° - pour le dévirage.

a) ouvrir l'essence

b) mettre gaz et mélange en position démarrage

c) mettre le régulateur en position de régime

d) mettrele contact

e) appuyer sur le contact de commande de l'hélice et maintenir jusqu'à ce que le moteur tourne à 1000 t / m

f) relâcher ; l'hélice fonctionne alors sous contrôle du régulateur, mis au régime minimum

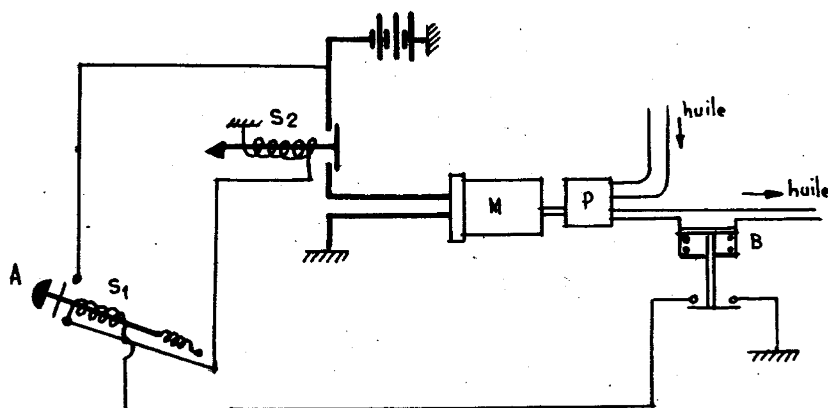
g) après réchauffage mettre le régulateur au régime désiré et régler les gaz pour obtenir la pression d'admission désirée.

REMARQUE.

Avec le système auxiliaire précédent, il est possible d'arrêter la mise en drapeau en tirant sur le contact de commande ; l'hélice retourne alors sous le contrôle du régulateur.

Si la commande a fonctionné accidentellement jusqu'à la mise en drapeau totale ou presque, on dévire ensuite de la façon normale.

SYSTEME AUXILIAIRE UTILISANT L'HUILE MOTEUR.



A) l'ensemble comprend :

a) une pompe entrainée par un moteur électrique.

b) des dispositifs de commande ou de sureté.

Si on pousse le bouton A pour mettre en drapeau, le solénoïde S_1 est alimenté, maintenant le contact enclanché ; par suite, S_2 est alimenté et enclanche le contact qui permet l'alimentation du moteur de la pompe.

La pression augmente et l'hélice part en drapeau. Arrivée en butée, la pression d'huile augmente et produit la coupure du circuit en B. Tout revient à 0 et la pompe s'arrête.

Pour faire le dévirage, il faut maintenir le contact à enclancher avec le pouce pour permettre au moteur de la pompe de continuer à être alimenté malgré la coupure en B.

SUGGESTIONS POUR L'UTILISATION.

A) Marche du moteur au sol : Régulateur en position " décollage ". Pour tout régime inférieur, l'hélice sera en butée petit pas et la puissance variera avec le nombre de tours. On opère les vérifications habituelles puis on essaie le régulateur.

B) Décollage et montée : Régulateur en position décollage ; lorsque le régime atteindra celui pour lequel le régulateur est réglé, il restera constant et le moteur pourra être utilisé en pleine puissance avec un régime normal.

Après le décollage, il faut réduire : a) la pression d'admission.

b) le régime

ceci dans l'ordre pour éviter des pressions exagérées dans les cylindres.

C) Croisière : Fixer le régime par le régulateur ; il sera maintenu constant, régler la pression d'admission par la manette des gaz. En cas de modification, régler d'abord le régime et ensuite la pression.

D) Descente : Le régulateur permet la descente en pleine puissance sans survitesse du moteur.

E) Prise de terrain et atterrissage. La pression d'admission et la vitesse diminuent, l'hélice passe au P P pour arriver jusqu'à la butée de P P ; en dessous du régime correspondant, le régulateur devient sans effet.

Suivant les utilisations :

a) placer le régulateur à la position de décollage de manière à avoir éventuellement la pleine puissance.

b) ou alors, mettre le régulateur sur la position de croisière pour que l'avion réponde immédiatement quand on donne les gaz par intervalle pendant la prise de terrain. Si pour une cause

imprévue, on a besoin de la puissance totale, on aura une survitesse momentanée qui agira comme réserve de puissance tant que les pales ne seront pas réajustées.

A l'atterrissage, placer le régulateur sur " décollage ".

H E L I C E   H A M I L T O N   A   P A S   R E V E R S I B L E

Cette hélice est montée sur le L 1049. Par rapport à l'hélice déjà vue, on note les différences suivantes :

1 - Cette hélice est à double action, ce qui entraine la suppression de la valve distributrice ; un système de reversibilité est monté à la place de cette valve.

2 - L'hélice étant reversible, les cames mobile et fixe comportent une rampe supplémentaire pour les opérations de " reversibilité " et de " retour de reversibilité ".

Les rampes de cames sont inversées par rapport à l'hélice déhà vue ; la partie " drapeau " est vers l'extrémité intérieure, la partie " reverse " est à l'opposé.

L'ensemble des leviers de butée " petit pas " occupe la place de la valve distributrice ; sous l'effet d'une pression auxiliaire et par un système de servo-valve, les butées s'effacent permettant à l'hélice de passer en reversibilité.

Le bloc de transfert d'huile, vissé dans le nez de l'arbre porte hélice, a pour but de diriger l'huile soit à l'avant, soit à l'arrière du piston de l'hélice par le tube de transfert.

3 - La liaison élastique pied de pale-pignon de commande n'est plus. Deux pieds de pale portent des bagues à lobes

= pour couper la pompe auxiliaire - lorsque l'hélice a fini son retour de reversibilité

- lorsqu'elle atteint un R P M contrôlé par le régulateur en cours de dévirage.

= pour couper la pompe auxiliaire quelques degrés avant la reverse complet et allumer un voyant de fin de reverse.

4 - Le régulateur est à double action, avec une tête électrique comportant un moteur à impulsions.

L'huile fournie par le régulateur est envoyée à l'avant ou à l'arrière du piston de l'hélice.

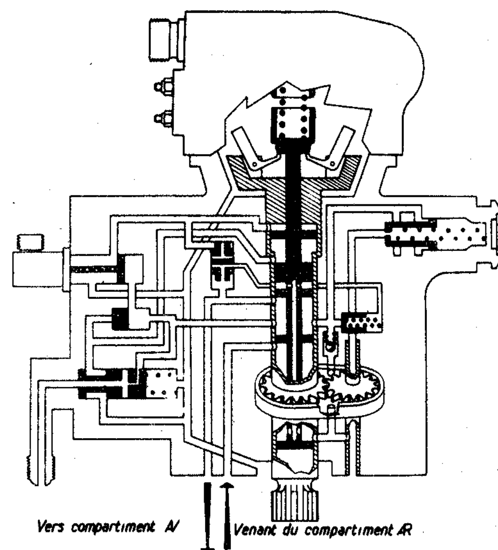
L A I S S E E

I N T E N T I O N N E L L E M E N T

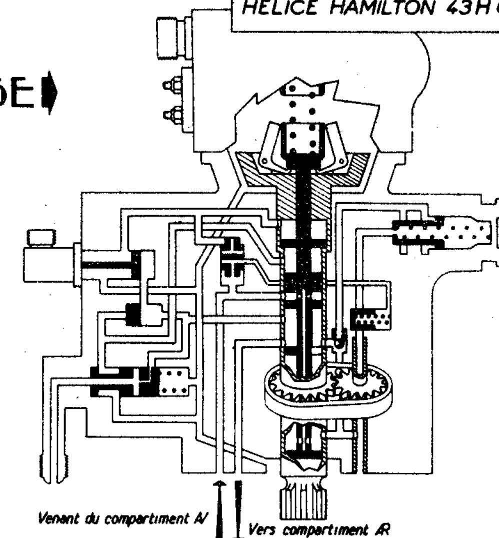
B L A N C H E

HÉLICE HAMILTON 43 H 60

SUR—VITESSE

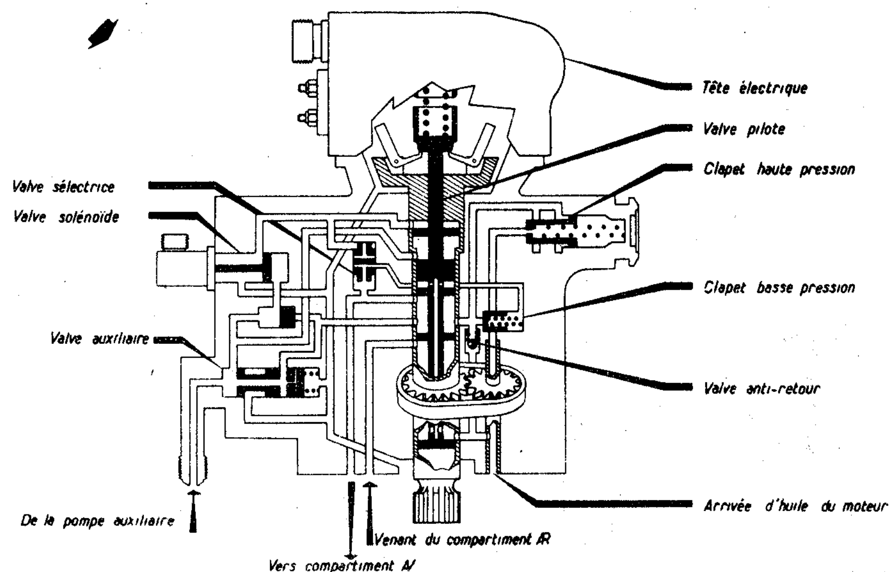


SOUS—VITESSE

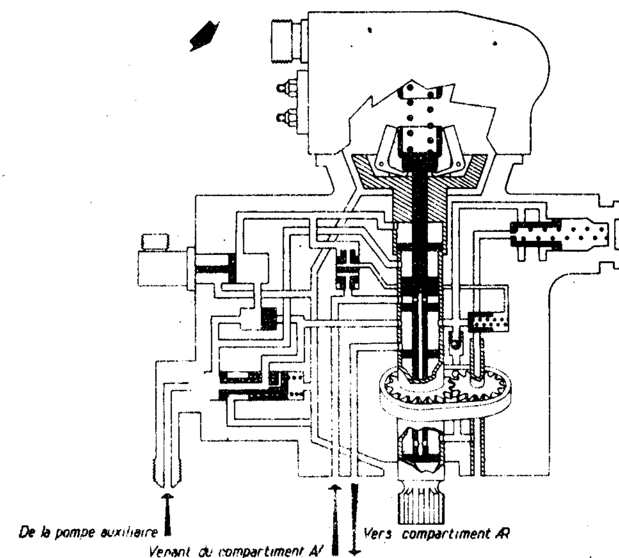


☐	HUILE HAUTE PRESSION AUXILIAIRE
☐	HUILE HAUTE PRESSION DU RÉGULATEUR
☐	HUILE BASSE PRESSION DU RÉGULATEUR
☐	HUILE DE DRAIN
☐	HUILE DU MOTEUR

DRAPEAU — RETOUR DE RÉVERSE

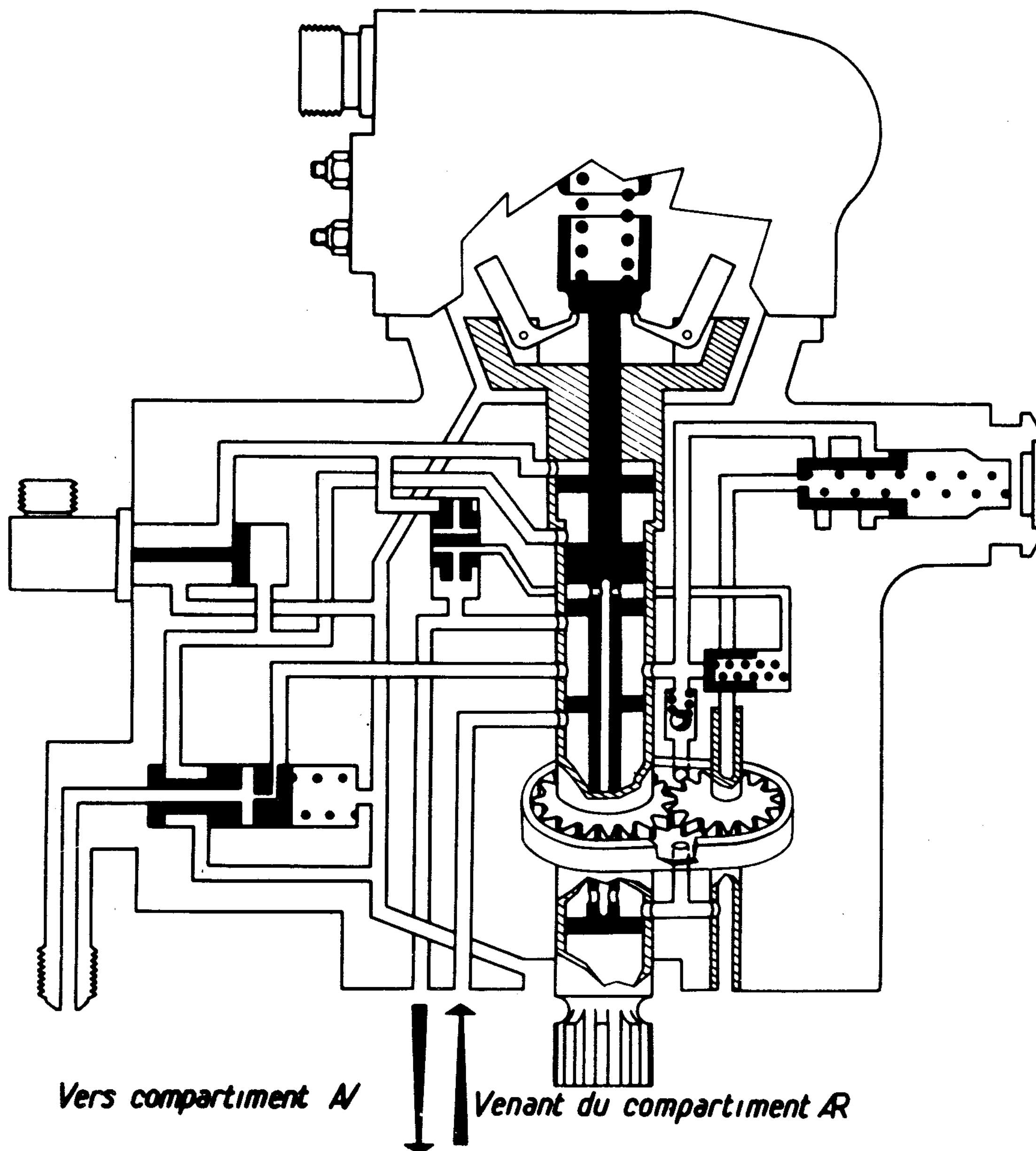


DÉVIRAGE — RÉVERSE

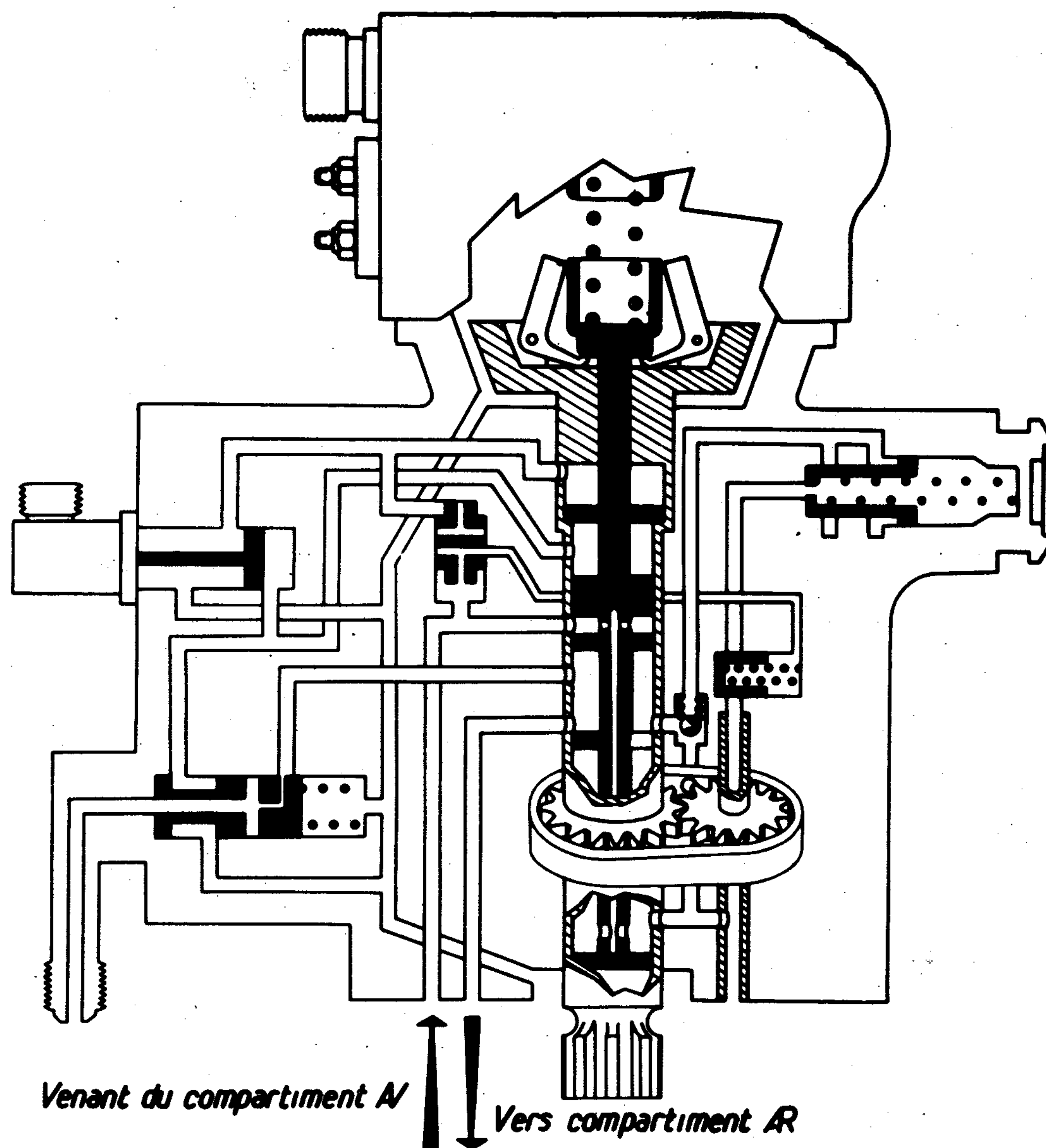


340

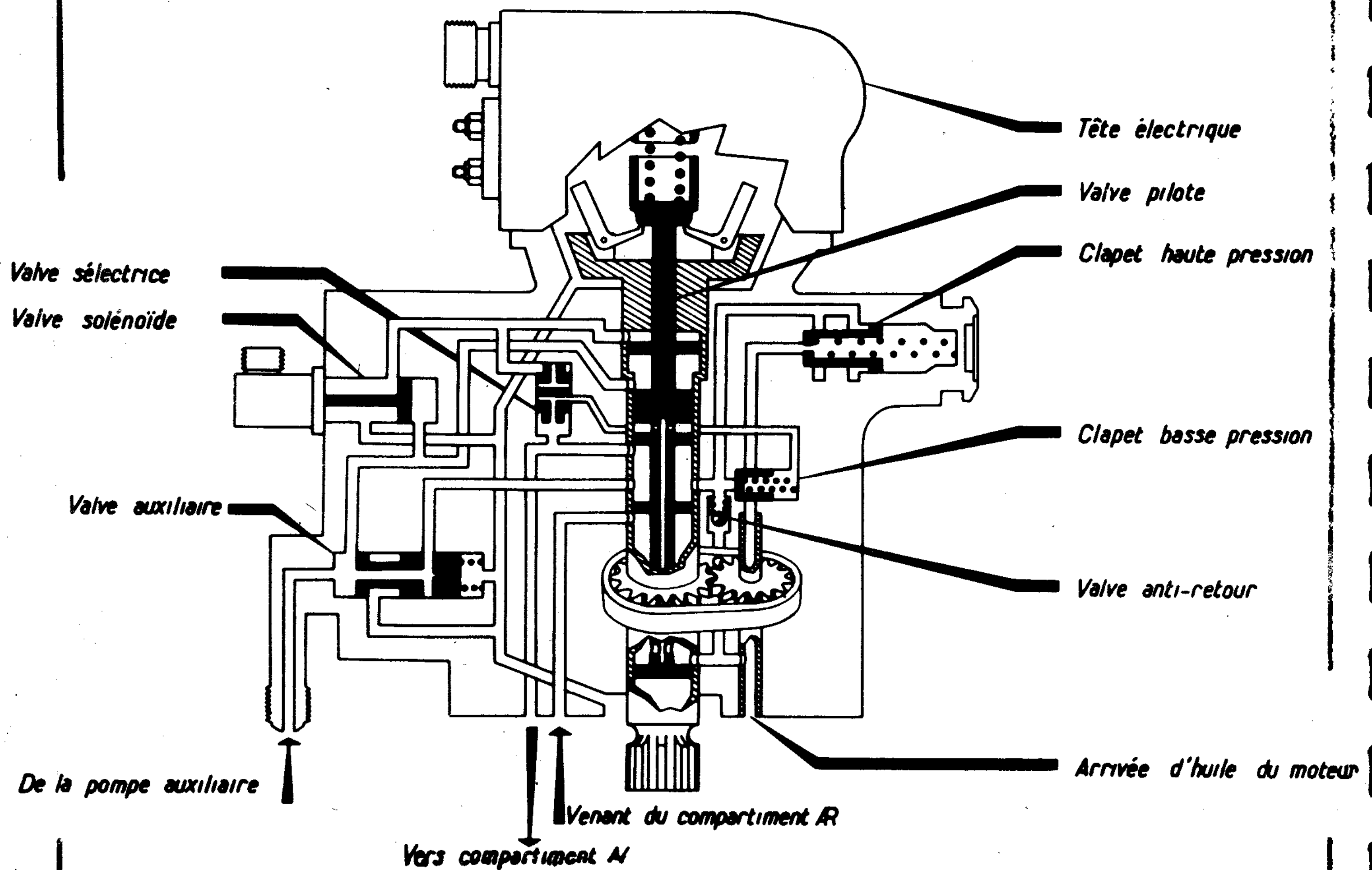
RÉGULATEUR 5U18 - 43



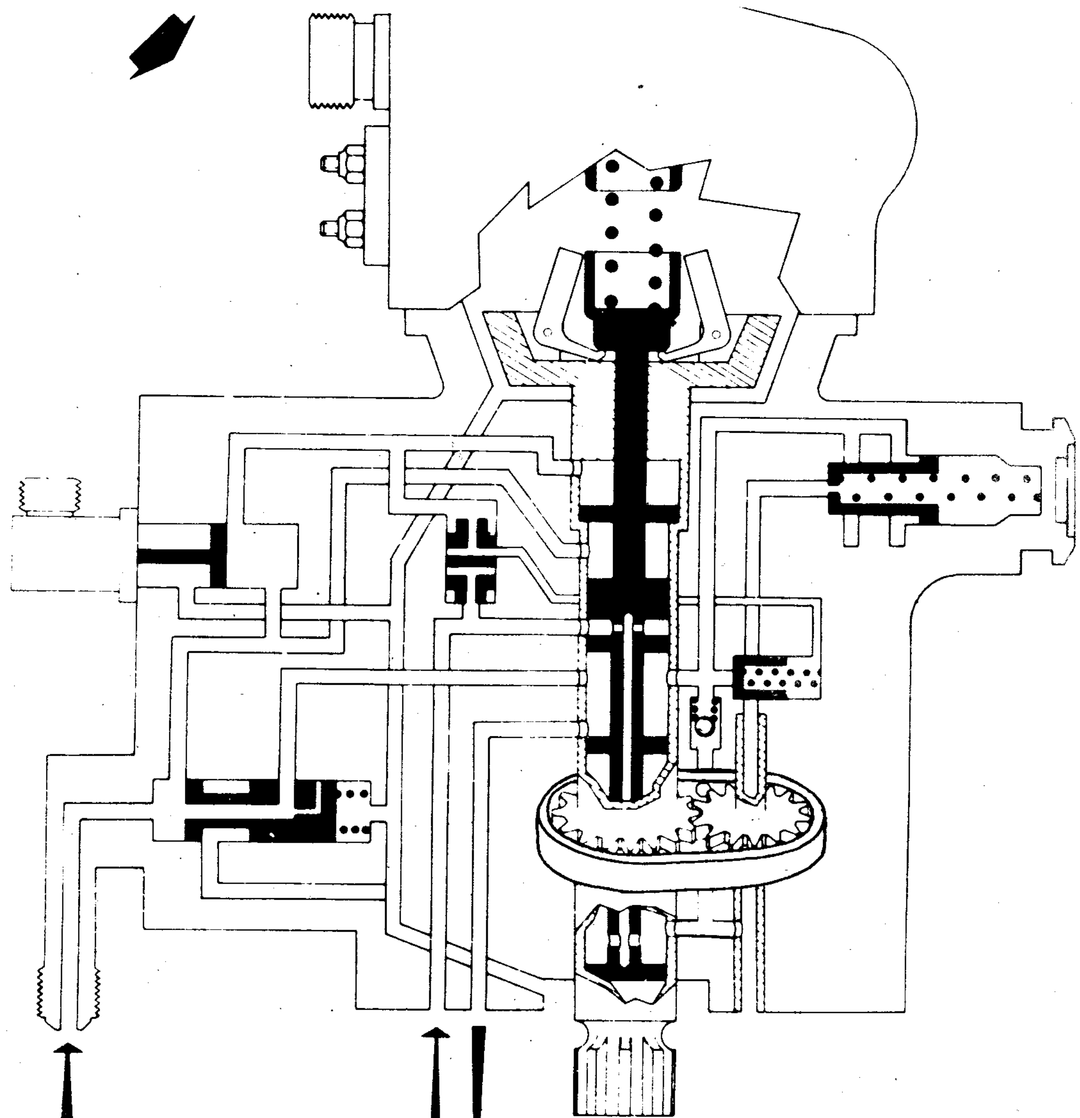
REGULATEUR SU 18-44
Sur vitesse



REGULATEUR 5 U 18-44
Sous vitesse



REGULATEUR SU 18-44
DRAPEAU-RETOUR DE REVERSE



REGULATEUR SU 18-44
Dévirage–réverse

HELICE CURTISS

Cette hélice à pas variable et reversible est commandée par un moteur électrique.

Le contrôle de la vitesse du moteur est obtenu en changeant le pas de l'hélice par le moyen d'un système électrique - mécanique.

Le courant électrique est envoyé à l'hélice par des balais en charbon frottant sur des bagues faisant partie du moyeu. Le courant est alors amené à travers le moyeu au bloc de commande. Ce bloc comprend un moteur électrique qui entraine une couronne dentée par l'intermédiaire d'un réducteur planétaire à deux étages, appelé réducteur de vitesse. La couronne dentée engrène continuellement avec le secteur denté de chaque pied de pale et permet ainsi tous les changements de pas.

Le synchronisateur automatique Curtiss permet la synchronisation lors de la marche à régime constant et permet ainsi de faire varier simultanément la vitesse des moteurs par l'action sur un seul contact.

Le synchronisateur donne un contrôle automatique de la vitesse constante par la conjugaison électrique de la vitesse des moteurs avec la vitesse d'un moteur principal (Master motor) qui fait partie du bloc synchroniseur. Toute différence de vitesse entre le moteur et le moteur principal provoque une action correctrice qui resynchronise les moteurs avec le moteur principal.

La conjugaison électrique des vitesses est accomplie par un contacteur qui fait aussi partie du bloc synchroniseur. Ce contacteur compare la vitesse du moteur avec celle du moteur principal au moyen de la fréquence de sortie d'un alternateur triphasé entrainé par le moteur. Toute variation de vitesse permet au contacteur d'envoyer à l'hélice le courant voulu pour provoquer la variation de pas nécessaire.

Un contacteur est donc nécessaire par moteur ; il est monté sur le moteur principal et entrainé par lui.

Le système de contrôle, en plus de son action de contrôle de la vitesse, permet un contrôle sélectif de pas fixe, drapeau, dévirage et reversibilité. Cette sélection de pas fixe permet d'obtenir l'angle de pas correspondant à un nombre de tours donné, pour des conditions de fonctionnement variables lorsque le fonctionnement à vitesse constante n'est pas utilisé, ou désiré.

La mise en drapeau permet de stopper un moteur ou de réduire la trainée avec un moteur au ralenti.

La reversibilité donne, pour un multimoteur, une plus grande sureté et une économie résultant de la diminution de longueur de roulement au sol, une action frein efficace, diminue l'utilisation des freins de roue et enfin assure une accélération négative progressive.

La reversibilité ou le retour à la normale doivent être rapides. Un survolteur donne une tension accrue dans ce cas.

CONSTRUCTION.

L'hélice " Curtiss " comprend les ensembles suivants :

1°) Moyeu

2°) Porte balais et carter de bagues collectrices

3°) Pales

4°) Ensemble de la couronne dentée

5°) Bloc de puissance avec le réducteur de vitesse, le moteur et le frein.

6°) Parties accessoires.

I) - Moyeu.

Le moyeu est en acier forgé avec une extension de la section arrière pour le montage de la cage collectrice. Les bagues sont isolées les unes des autres, et du moyeu, sauf la dernière qui n'est pas isolée du moyeu. Celle-ci permet le retour du courant par la masse. Des tiges conductrices traversant le moyeu sous tubes isolants amènent le courant depuis les bagues jusqu'au bloc de puissance à l'autre extrémité du moyeu. Chaque bras du moyeu est fileté intérieurement pour recevoir un grand écrou destiné à tenir en place l'assemblage de pale ; la face avant du moyeu est usinée de façon à pourvoir recevoir par boulonnage le bloc de commande et la couronne dentée.

Un anneau peut être monté en avant des bagues collectrices pour permettre la distribution du fluide anti-givre au collecteur distributeur et de là au bord d'attaque des pales.

Sur certaines installations, le dégivrage est effectué électriquement, le courant de bord chauffant un élément qui se trouve le long du bord d'attaque de la pale. Le courant arrive à cet élément par l'intermédiaire d'une bague collectrice supplémentaire à l'arrière du moyeu.

II) - Porte charbon et carter des bagues collectrices.

Un carter en aluminium boulonné sur le nez du moteur permet le montage du support de porte-balais.

Ce porte-balais est équipé d'un bouchon connecteur qui facilite les raccordements électriques ; il permet un réglage facile de l'alignement des balais avec les bagues collectrices.

III) - Pales.

Les pales en acier sont creuses. Elles sont formées de deux feuilles d'acier formant l'une l'intrados, l'autre l'extrados et le pied. Ces deux plaques sont soudées le long du bord d'attaque et du bord de fuite, les deux soudures convergent sur le pied en une soudure simple jusqu'à l'emplanture de la pale.

Certaines pales sont de construction symétrique et diffèrent seulement par le fait que les soudures ne convergent pas mais continuent le long de chaque côté du pied dans le prolongement du bord d'attaque et du bord de fuite.

Un épanouissement formé par le pied de pale permet de transmettre au moyeu les efforts centrifuges. Le pied de pale est cannelé intérieurement, permettant l'entrainement direct de la pale par la couronne dentée ; un manchon cannelé maintient le secteur denté de pied de pale dans l'intérieur du pied et un boulon le tient en place, permettant un montage facile. Un joint annulaire empêche la graisse d'entrer dans la chambre d'équilibrage de la pale.

Des séries de roulements ayant la même cuvette intérieure transmettent les charges centrifuges directement au moyeu, permettant à la pale de tourner librement dans le moyeu, en toute circonstance.

Un roulement à billes maintenu par un jonc d'arrêt sur l'épanouissement de pied de pale permet une précharge des roulements ci-dessus, lorsque l'écrou de retenue de pale est serré ; cette précharge assure un positionnement correct des roulements principaux de pale avant application des efforts centrifuges.

Un joint contenu dans l'écrou de pale retient l'huile du moyeu.

IV) - Carénage de pale.

Il consiste essentiellement en un support et une plaque destinée à prolonger jusqu'au moyeu le profil intérieur de la pale. Ce carénage aide au refroidissement du moteur en augmentant la circulation de l'air et aussi la pression statique à l'avant des cylindres dans certaines conditions de fonctionnement. Cet ensemble peut être enlevé si besoin est.

V) - Couronne dentée.

Elle est montée avec un roulement qui absorbe les réactions des engrenages. Un plateau adaptateur supporte cette couronne et le roulement et forme support du couvercle du bloc de commande et de la casserole d'hélice. Des joints adéquats, à l'intérieur de l'ensemble

et entre les parties assurent le maintien du lubrifiant dans le moyeu. Des joints d'épaisseur sont utilisés pour assurer la précharge de la couronne sur les secteurs de pied de pale.

VI) - Bloc de commande (ou de puissance).

Comme il est déjà dit, ce bloc comprend le réducteur de vitesse, le moteur de commande et le frein. L'ensemble transforme la grande vitesse du moteur électrique en une vitesse très inférieure actionnant les pales. L'ultime transfert se fait par la couronne dentée qui est montée par cannelures sur l'ensemble réducteur à 2 étages.

VII) - Moteur et frein.

Le moteur de changement de pas est fixé sur le carter avant du réducteur de vitesse. Il est du type " série " et possède 2 enroulements inducteurs permettant d'inverser le sens de rotation. Le rotor est monté sur 2 roulements et est muni d'une extrémité cannelée qui entraine le réducteur de vitesse.

L'ensemble du frein est contenu à l'intérieur de la partie avant du carter moteur. Il comprend une plaque de poussée, un moyeu cannelé claveté sur l'arbre du moteur, un disque flottant à cannelures et dont les faces serviront au freinage, et un plateau frein arrière maintenu contre le disque cannelé au moyen de ressorts à boudin. Un solénoïde est logé derrière ce plateau et est branché en série avec le moteur électrique.

Lorsque ce moteur fonctionne, le solénoïde est excité et le frein est relaché. Lorsque le moteur est arrêté, le solénoïde n'est pas excité et le frein est serré par l'action des ressorts. Cette action bloque les pales à l'angle où elles étaient lorsque le courant a été coupé.

Le frein est complètement enfermé ; un cellier métallique et une plaque permettent une vérification facile.

VIII) - Réducteur de vitesse.

Le réducteur est composé de deux étages de planétaires contenus dans un carter en alliage d'aluminium. Les parties mobiles sont montées sur coussinets anti-friction ; les dents sont cementées.

L'ensemble est partiellement rempli d'huile incongelable; formant bain d'huile continu. Des joints assurent l'étanchéité.

Des interrupteurs de fin de course sont insérés à l'extrémité moyeu du réducteur de vitesse.

Ces interrupteurs de fin de course, montés dans le circuit du moteur, sont munis d'un connecteur qui engrène avec un connecteur sur la face avant du moyeu. Ces interrupteurs sont commandés par bras et pivots actionnés par des cames fixées sur l'engrenage principal du réducteur de vitesse.

Les cames permettront donc, par leur position, le contrôle de G P, P P, drapeau et angle de reversibilité.

IX) - Parties accessoires.

Comprennent les pièces de fixation de l'hélice sur l'arbre porte-hélice. On y trouve :

- cône arrière, en bronze,
- cône avant, en acier,
- écrou d'arbre porte-hélice,
- verrou,

Un segment de freinage est placé dans un logement usiné dans la partie avant du moyeu et, avec le cône avant et l'écrou, est utilisé comme extracteur lors du démontage. Un joint dans le moyeu, directement derrière le cône avant, empêche la graisse de s'échapper par les cannelures du moyeu.

CHAPITRE XVI

GROUPE MOTO PROPULSEUR

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR

Le groupe moto-propulseur comprend :

- le moteur avec sa rampe d'allumage, ses magnétos et son carburateur.

- les équipements nécessaires au fonctionnement des servitudes de l'avion, à savoir : pompe à essence, démarreur, génératrice, génératrice de compte tours, pompe hydraulique, pompe à vide, régulateur d'hélice, etc...

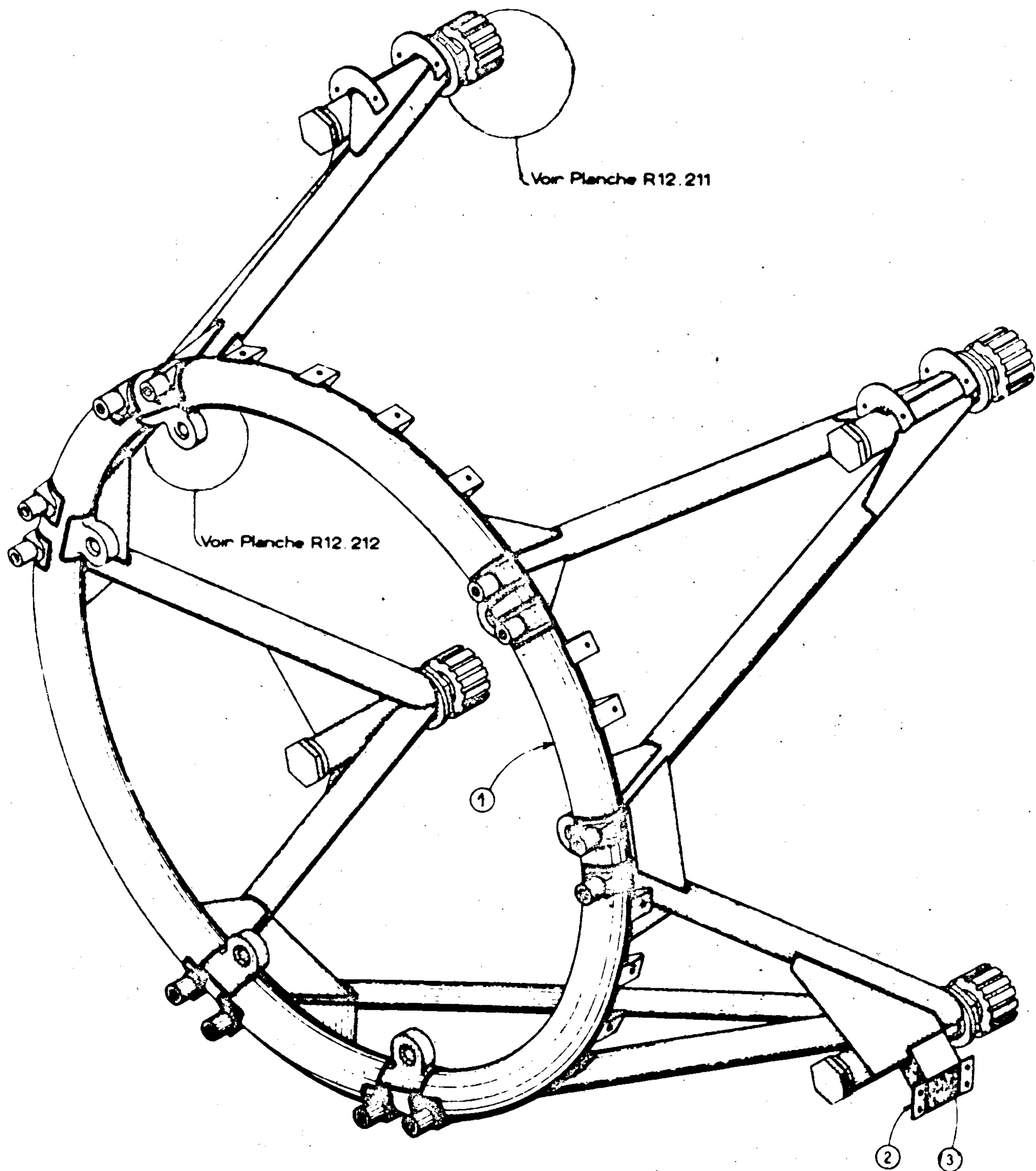
- les cablages électriques et les circuits nécessaires au fonctionnement et à la sécurité.

- le bâti support moteur, permettant la fixation de l'ensemble sur l'avion.

- les capotages : capot Naca, volets de capot, capot bâti hélice ... etc

- la manche à air carburateur.

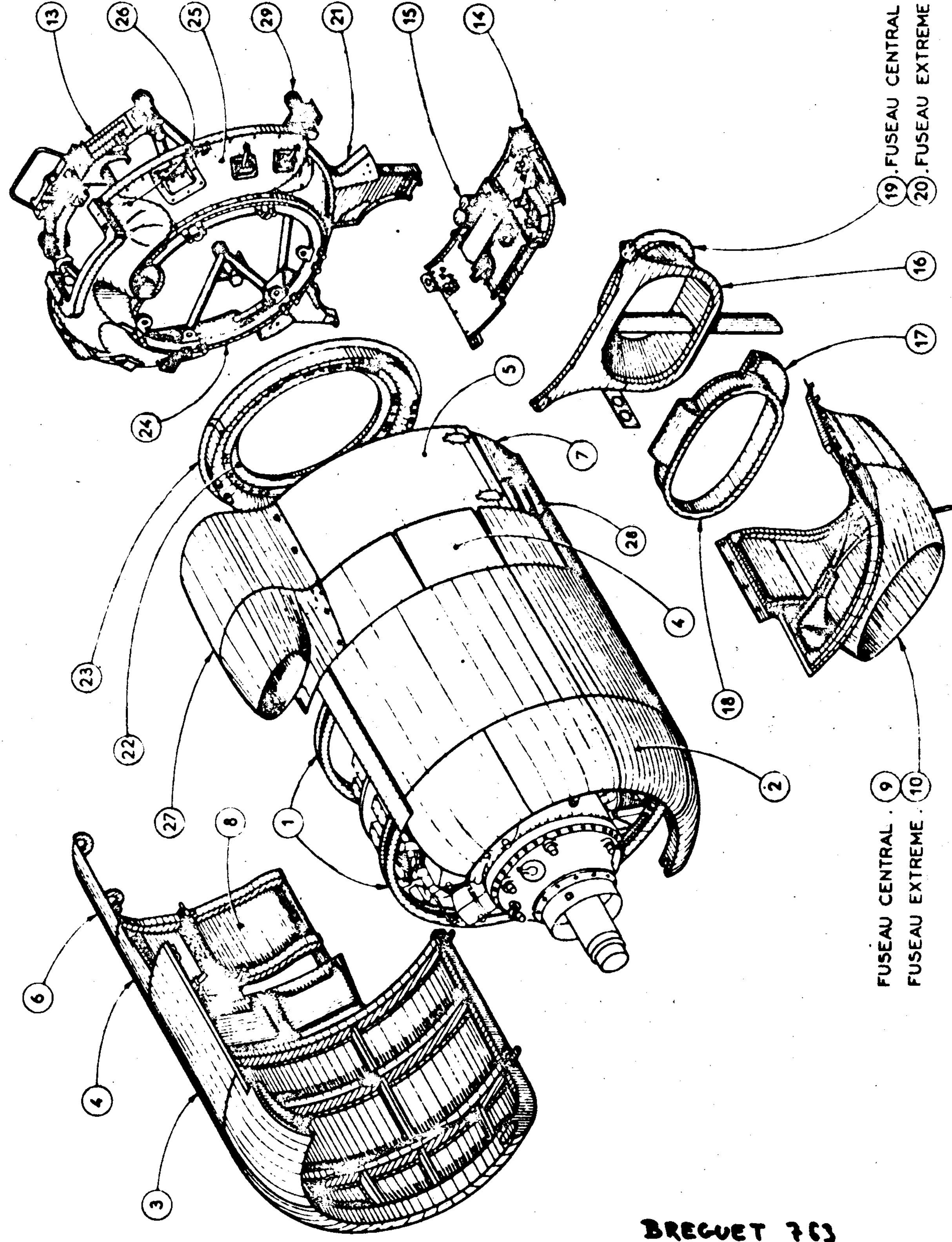
et suivant les types d'avion, le radiateur d'huile, le réservoir d'huile.



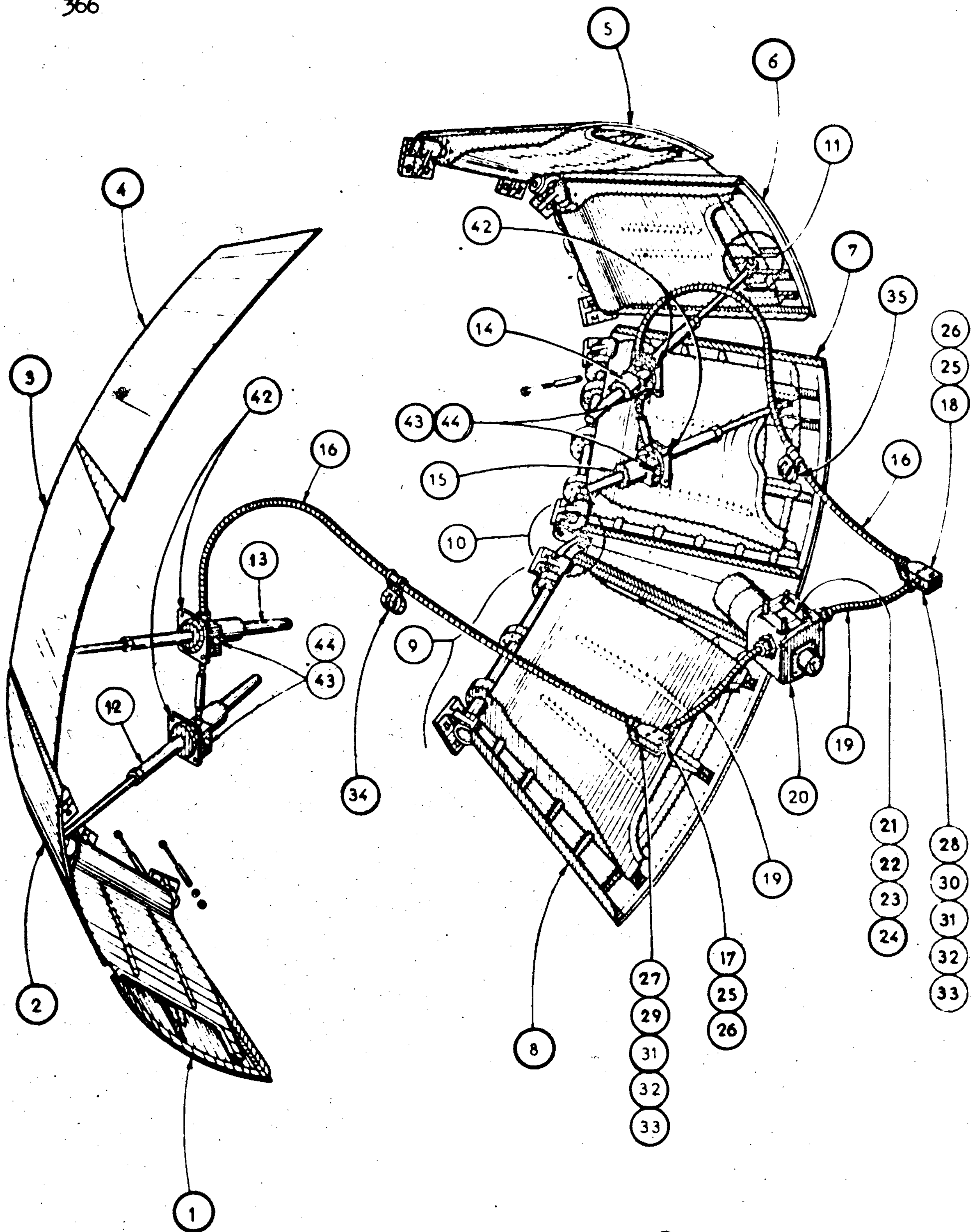
BREGUET 763

BATI MOTEUR

ENSEMBLE



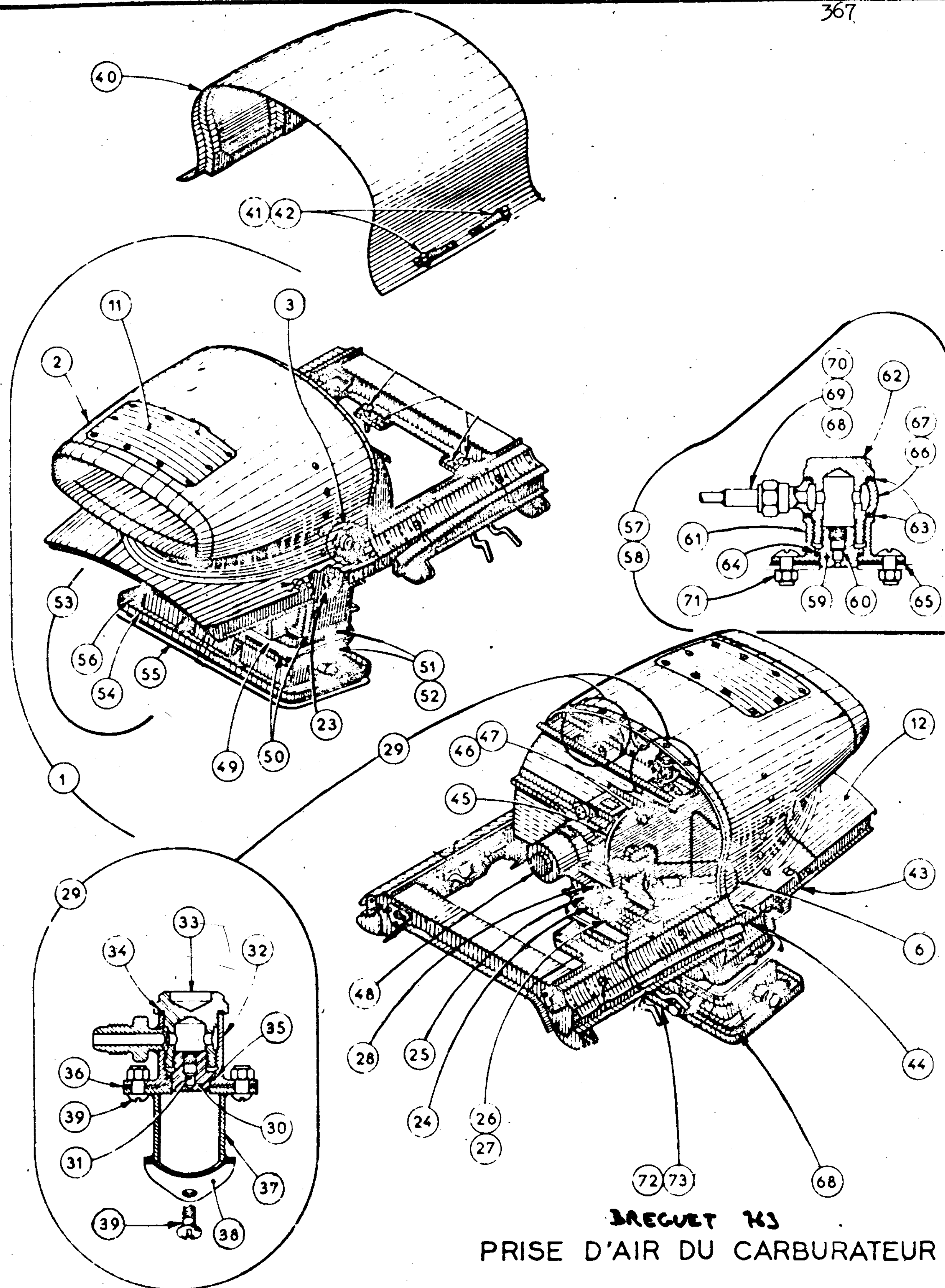
BREGUET 763
ENSEMBLE DES CAPOTAGES DES G.M.P.



BREGUET 763

ENSEMBLE

DES VOLETS DE CAPOTS



BREGUET 763

PRISE D'AIR DU CARBURATEUR